SCIENCES ET AVENIR

Sciencesetavenir.fr

© RÉMY CORTIN POUR SCIENCES ET AVENIR - AKG-IMAGES/LESSING

Archéologie

DÉCOUVERTE MAJEURE EN GRÈCE p.46

Cancer, AVC, Alzheimer, diabète...

Les aliments qui protègent vraiment

Les conclusions de 12 études scientifiques p.27

M 02667 - 811 - F: 4,30 € - RD

SEPTEMBRE 2014 - N° 811 - BELGIQUE : 4.90 € / LUXEMBOURG : 4.90 € / SUISSE : 7.20 FS / AUTRICHE : 4.90 € / ESPAGNE : 5.00 € / ITALIE : 4.90 € / ALLEMAGNE : 6.80 € / PORTUGAL : 4.90 € / GRÈCE : 4.90 € / GUYANE : 4.90 € / ANTILLES - RÉUNION : 4.70 € / MAROC : 42. MAD / TUNISIE : 5.80 TND / CANADA :6.99$ CAN / ETATS-UNIS : 6.99 $ US / TOM : 730 XPF / TOM (AVION) 1400 XPF

*Disponible en option, de série selon modèle.
(1) En location longue durée sur 60 mois et pour 50000 km. Exemple pour la LLD d'une Peugeot 2008 Crossway 1,6L VTi BVM5 120 et d'une Peugeot 3008 Crossway 1,6L HDi BVM6 115 neuves et sous condition de reprise d'un véhicule de plus de 8 ans. Montants exprimés TTC et hors prestations facultatives. **Modèles présentés** sous condition de reprise d'un véhicule de plus de 8 ans: 2008 Crossway 1,6L VTi BVM5 120 neuve option Park Assist **pour 10€ de plus par**

PEUGEOT CROSSOVER

MOTION & EMOTION

PEUGEOT 2008 ET 3008
SÉRIE SPÉCIALE CROSSWAY

DE NOUVELLES SENSATIONS À DÉCOUVRIR

DÉCORS ET GARNISSAGE BI-MATIÈRE CROSSWAY	MOTRICITÉ RENFORCÉE GRÂCE AU GRIP CONTROL*	NAVIGATION, BLUETOOTH ET PORT USB

mois après un 1er loyer de 3 700 € et 3008 Crossway 1,6L VTi BVM5 120 neuve options peinture métallisée et Pack Vision **pour 30 € de plus par mois après un 1er loyer de 5 000 €.** Conditions de reprise disponibles dans les Points de vente Peugeot. Offre non cumulable valable du 25/08 au 31/10/14, réservée aux personnes physiques pour toute LLD d'une 2008 Crossway et 3008 Crossway neuves dans le réseau Peugeot participant, sous réserve d'acceptation du dossier par PEUGEOT FINANCE – Loueur : CREDIPAR, SA au capital de 107 300 016 €, RCS Nanterre nº 317 425 981, 12, avenue André-Malraux, 92300 Levallois-Perret.

PEUGEOT

PAS DE DOUTE, ON A UN GRAIN.*

Kronenbourg®

l'Originale

BK RCS Strasbourg 775 614 308 la chose *Des grains d'orge et de blé sont utilisés dans la fabrication de la bière Kronenbourg.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION

ÉDITO

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Les clés de l'alimentation

Il y a l'orthographe, et aussi l'orthodoxie, ou encore l'orthophonie et l'orthodontie... Toutes ces règles et manières que nous, humains, ne cessons de mettre en œuvre pour tenir bien droit ce que nous estimons devoir l'être — l'écriture, une doctrine, la parole, voire notre mâchoire ! Alors, que penser de l'orthorexie, ce trouble du comportement où l'alimentation, chez un individu, finit par tourner à l'obsession (1) ? Et le voici vérifiant systématiquement la qualité des produits, s'interrogeant sans cesse sur la présence de substances chimiques, sur l'apport en matières grasses, en sucre, en sel, etc. Autrement dit la recherche interminable d'une impossible « pureté » et d'un manger parfaitement correct ! Rassurez-vous, chers lecteurs, ce n'est pas vers ce genre d'excès que va vous entraîner aujourd'hui *Sciences et Avenir* avec son dossier de couverture « Les aliments qui protègent vraiment ». Bien au contraire. Comme nous le dit d'emblée le Dr Jean-Michel Lecerf (p. 37) : *« Il n'y a pas d'aliment magique qui contiendrait tout ce dont notre organisme a besoin. »* Nous ne succomberons donc ici ni à un engouement fallacieux pour des diètes miracles, ni à la stigmatisation exagérée de certains produits. Ce que nous avons cherché, c'est à exposer les clés de compréhension de cette alimentation qui passionne les omnivores que nous sommes. Car ces clés existent, grâce aux dizaines, voire aux centaines d'études scientifiques réalisées sur le sujet et qui méritent qu'on en fasse l'analyse. Nos journalistes spécialistes les ont donc absorbées, écumant les éventuels conflits d'intérêt (2), pour ne finalement vous servir que les plus pertinentes (souvent des méta-analyses faisant le point à partir d'un très grand nombre d'études initiales, citées en notes dans nos pages), environ une douzaine. Vous retrouverez ainsi, suite à notre alléchante couverture, les aliments anticancer tels les fruits et légumes ; bons pour le cœur et le cerveau tels les céréales, le poisson ou les fruits secs ; les renforts du système immunitaire, merci le thé ou le café, etc. Avec tous les effets, à mieux connaître, des vitamines, antioxydants, fibres et autres oméga 3... sur tel ou tel organe. Comme nous n'ignorons pas nos habitudes culturelles, il n'était pas question de passer sous silence ces aliments mis à l'index que sont charcuterie, fromage et vin... partie intégrante de notre art de vivre ! Mais nous vous invitons fortement à suivre quelques conseils *(pp. 36-37)*. Exemple : adopter des barbecues verticaux si on ne résiste pas aux grillades, éviter les fromages fondus pour les enfants, n'adopter que le chocolat noir au pourcentage maximal de cacao... Et si vous vous sentez frustré d'étiquetage indicateur (vert, orange, rouge selon la qualité nutritionnelle d'un produit, comme le pratiquent nos voisins britanniques), songez à la recommandation du Dr Lecerf : *« Il semblerait plus judicieux de donner des repères de fréquence de consommation conseillée. »* Eh bien, avec modération, mangez maintenant !

(1) *Orthos* signifie droit et *orexis* envie, appétit en grec.
(2) Études directement liées à l'industrie alimentaire en particulier.

SCIENCES ET AVENIR

41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : - 01.55.35.56.00. Fax : - 01.55.35.56.04
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes
Andreina DE BEI
(photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Stéphane DESMICHELLE
(pôle digital) - 01.55.35.56.24

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET
(couverture) - 01.44.88.35.51
Jean-Louis GILABERT
(directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY
(directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chefs de rubrique
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Sylvie RIOU-MILLIOT
(médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grand reporter
(archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Arnaud DEVILLARD (numérique, data, généraliste) - 01.55.35.56.27
Marc GOZLAN (médecine bio, généraliste) - 01.55.35.56.60
Olivier HERTEL (technologie, futur, décryptage) - 01.55.35.56.03
Sylvie ROUAT
(espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter
(biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs
Johan KIEKEN, Loïc CHAUVEAU, Marie-Noëlle DELABY, Pierre MIQUEL, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction
Isabelle RUDI-HOUET - 01.55.35.56.30 - irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro
A. BOEHLY, S. DAMANT, F. DANINOS, R. GANCEL, J.-F. HAÎT, P. KALDY, F. LEROY, L. SAMPAIX

Secrétariat de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Illustration
Betty LAFON - 01.55.35.56.37

Photogravure
Karine HUET - 01.55.35.56.25

Pôle digital
Lise LOUMÉ (rédactrice santé) - 01.55.35.56.39
Damien HYPOLITE
(chef de projet infographie) - 01.55.35.56.23
Joël IGNASSE
(rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Hugo JALINIÈRE (rédacteur santé) - 01.55.35.56.52
Erwan LECOMTE
(chef de rubrique) - 01.55.35.56.56

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (chef de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS, VENTE AU NUMÉRO
Isabelle RUDI-HOUET 01.55.35.56.50/56.30
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Fabrication
Xavier LOTH (directeur de la fabrication)
Stéphanie TERREAU (chef de fabrication)
Pierre LE SECH - 01.44.88.36.27

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Nathalie TRÊHIN - 01.55.35.56.13

ABONNEMENTS
Tél. : 01.40.26.86.11
142, rue Montmartre, 75103 Paris Cedex 02
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements :
France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.
Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

PUBLICITÉ
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : - 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale
Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26
Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88.97.58

VENTES
Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris et aux dépôts)
0.800. 24.69.33

Directeur commercial
Jean-Claude ROSSIGNOL - 01.44.88.35.40
Directrice commerciale adjointe
Paule COUDERAT - 01.44.88.34.55
Directeur des ventes
Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements
Philippe MENAT - 01.44.88.35.02 assisté de Lina QUACH 34.54
Relations extérieures
France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL

Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse, 75002 Paris. Tél : - 01.44.88.34.34.
Imprimerie SEGO-Taverny. Distribution Presstalis.

OJD PRESSE PAYANTE Diffusion Contrôlée 2013

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec Sciences et Avenir, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend, jetés sur couverture, un encart Festival Voyages Turquie et un catalogue Objets du mois sur la totalité des abonnés et, en diffusion partielle des abonnés, un encart LINVOSGES, un encart Valeurs Actuelles, un message 01 NET et un message Nouvel Observateur. Commission paritaire n° 0615 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

LA GALERIE DE BOTANIQUE *du Muséum*

Nouveau au
Jardin des Plantes

18 RUE BUFFON, PARIS 5e

AVEC LE SOUTIEN DE LA

Fondation de la Maison de la Chimie

MNHN.FR

SCIENCES ET AVENIR

Mon Quotidien

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

© Carlos Munoz Yague / Look At Science

RÉMY FORTIN POUR S. ET A.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 811 / Septembre 2014

DOSSIER P. 27

Ces aliments qui nous protègent

En s'appuyant sur les études les plus récentes, « Sciences et Avenir » fait le point sur les ingrédients à vraiment privilégier pour une alimentation équilibrée et protectrice.

5 Édito par Dominique Leglu

9 Courrier

ÉVÉNEMENT

10 Médaille Fields : gloire et déboires des maths françaises

SCIENCES FONDAMENTALES

14 **ACTUALITÉS** / Manipulation d'atomes à température ambiante / De l'eau liquide à l'intérieur d'Encelade ? / Les 10 ans de Messenger

38 La Lune, fille d'une collision avec la Terre

42 Ces cristaux nous en font voir de toutes les couleurs

45 Deux monstres cosmiques annihilés

45 Livres

HISTOIRE

16 **ACTUALITÉS** / Amon, un dieu chahuté / Et si tous les dinosaures avaient des plumes ? / L'ambre, piège à insecte

46 Le mystère d'Amphipolis

50 Jean-Claude Golvin : il recrée les mondes perdus

52 Un guerrier gaulois inhumé sur son char

54 Homme de Flores : trisomique ou espèce à part entière ?

56 Livres

NATURE

18 **ACTUALITÉS** / Des macaques irradiés à Fukushima / L'écotaxe peut sauver des vies / La cinquième patte du kangourou

58 Déménagement forcé pour le conservatoire de la vigne

62 Une vision globale pour rendre l'environnement durable

66 Le blé, une céréale génétiquement hors normes

67 Livres

SANTÉ

22 **ACTUALITÉS** / Cœur : régénérer les cellules pacemaker / Un écran correcteur de vue / Le succès d'une série télé se lit dans le cerveau

68 La chirurgie des mains multiplie les prouesses

72 Farines et dérivés : comment s'y retrouver ?

74 L'épigénétique au secours des maladies auto-immunes

77 Revue de presse

78 Virus Ebola : état d'alerte maximale

79 Livres

HIGH-TECH

24 **ACTUALITÉS** / L'art d'éviter les nœuds / Du stade au HLM / Et la main devint écran...

80 La formule E entre en piste

84 Des pales de réacteur tissées sur un métier Jacquard

87 Les chips ont des oreilles

87 Livres

SCIENCE PRATIQUE

88 Comment lutter contre le braconnage ?

90 Test : les imprimantes photo

94 L'observation du ciel de septembre

96 Rendez-vous

98 L'info en continu sur sciencesetavenir.fr

S. RUAT/CNRS PHOTOTHÈQUE

Artur Avila, 12e lauréat français de la médaille Fields p. 10

A. MICHALIDIS / AP / SIPA

En Grèce, découverte d'un immense monument funéraire p. 46

FORMULA E / MICHELIN

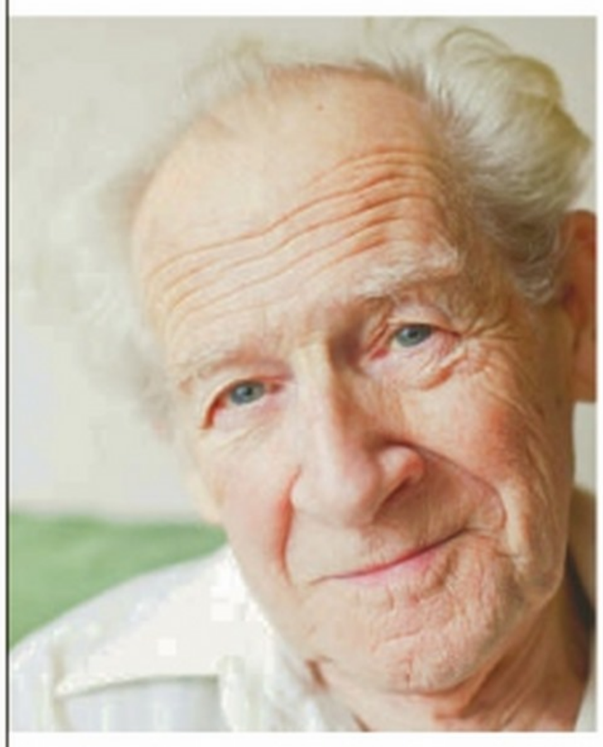
Le premier championnat du monde de formule 100 % électrique p. 80

La Fondation pour la Recherche Médicale vous informe

Maladie d'Alzheimer, un défi pour la recherche

FONDATION RECHERCHE MÉDICALE

MALADIE D'ALZHEIMER
UNE PENSÉE
POUR NE PAS OUBLIER



En 1906, le Dr Aloïs Alzheimer est le premier à décrire un cas de démence progressive, associée à des lésions dans le cerveau. Il faudra attendre 60 ans pour que cela soit considéré comme une maladie et non un vieillissement normal, et 20 ans encore avant que les chercheurs s'intéressent enfin au cerveau des malades.
Pour beaucoup, cela reste une maladie taboue, associée aux troubles de la mémoire. Mais cette maladie est bien plus complexe et sa dimension sociale est considérable.

Le point sur la maladie d'Alzheimer

La maladie d'Alzheimer entraîne une destruction progressive et irréversible des neurones dans le cerveau. Peu de choses sont connues sur la maladie. Elle est multifactorielle, avec des origines à la fois génétiques, physiologiques et environnementales. Les patients présentent deux types de lésions cérébrales dues à l'accumulation anormale de protéines, qui provoque la mort des neurones : les plaques séniles (agrégats de peptide bêta-amyloïde) et les dégénérescences neurofibrillaires*.
La détérioration des neurones se manifeste dans un premier temps par des troubles de la mémoire, du langage, des difficultés à effectuer certains gestes et par la perte de reconnaissance des objets et des visages. Ces troubles n'apparaissent pas brutalement, mais insidieusement et lentement. Ils peuvent évoluer conjointement ou de façon isolée. La propagation des lésions dans le cerveau aggrave les symptômes : perte d'autonomie cognitive puis physique, troubles du comportement (apathie, dépression), altération des interactions sociales et isolement, dégradation des fonctions vitales.

**Dégénérescences neurofibrillaires : accumulation à l'intérieur des neurones de filaments pathologiques, des fibrilles constituées de protéines appelées tau.*

Un problème majeur de santé publique

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, on estime aujourd'hui à 35,6 millions le nombre de personnes dans le monde atteintes de démences : la maladie d'Alzheimer est impliquée dans 60 à 70 % des cas. En France, 850 000 personnes sont atteintes de maladie d'Alzheimer et 225 000 nouveaux cas sont diagnostiqués chaque année, soit 1 personne toutes les 3 minutes ! En raison du vieillissement de la population, en 2020, 1 Français de plus de 65 ans sur 4 devrait être touché par la maladie d'Alzheimer. D'une manière générale, elle apparaît après 65 ans et de façon non prédictive car seul 1% des cas est héréditaire. Elle touche plus de femmes que d'hommes. C'est la 4e cause de mortalité en France.

Des pistes de recherches prometteuses

Il n'existe, à l'heure actuelle, aucun traitement pour guérir la maladie d'Alzheimer. Seuls quelques traitements peuvent freiner l'évolution des symptômes. Mais la recherche progresse, et de nombreux axes sont féconds et porteurs d'espoirs : compréhension du fonctionnement du cerveau en conditions normales et pathologiques, développement de nouvelles thérapies, techniques innovantes de diagnostic, tests de molécules novatrices... Certains projets visent par exemple à mieux comprendre comment les peptides bêta-amyloïdes s'accumulent dans le cerveau, afin de les éliminer ou d'empêcher leur formation ; d'autres portent sur les cellules de soutien qui entourent les neurones et assurent leur protection, l'idée étant à terme de développer des traitements capables de protéger les neurones et ralentir ainsi l'évolution de la maladie... Une recherche sur tous les fronts qui pourra mener au développement de traitements innovants.

▶ en savoir plus sur frm.org

FONDATION POUR LA RECHERCHE MÉDICALE, 54 RUE DE VARENNE 75007 PARIS
Fondation reconnue d'utilité publique, agréée par le Comité de la Charte du don en confiance et habilitée à recevoir des dons, legs, donations et assurances-vie.

COURRIER

« Je suis très gêné lorsque le mot Dieu avec un grand D apparaît dans Sciences et Avenir — par ailleurs, à mon sens, remarquablement bien conçu. [...] Car tout se passe parfois comme si d'aucuns ne pouvaient se résoudre à reconnaître qu'au-delà d'un certain point, on ne sait plus ou on ne peut plus comprendre. »

Fred Tavano (courriel)

« Dieu et l'Univers »
(*Sciences et Avenir* n° 810, août 2014).

Courriels à : **redaction@sciencesetavenir.fr**

« Les insectes s'invitent au menu du jour »
(Sciences et Avenir n° 810, août 2014)

Quels contrôles sanitaires pour les insectes comestibles ?

Dans votre numéro 810 d'août 2014, l'article sur les insectes comestibles me pose une question : on parle de plus en plus de manger des insectes mais on ne parle jamais des conditions sanitaires. Comme tous les animaux, les insectes peuvent être malades ou infectés par des parasites. Quand un bœuf est abattu, un vétérinaire contrôle la viande. Et pour les insectes que fait-on ? **Christian Buyse** (courriel)

S. et A. : Vous avez raison, les questions d'ordre sanitaire ne sont que très rarement évoquées dès lors que l'on parle de se nourrir d'insectes. Aussi, avons-nous mis l'accent sur le problème de l'alimentation de ces insectes qui pourrait induire un scandale sanitaire du type de la « vache folle », sur celui des zoonoses possibles et des allergènes potentiels. Nous avons rappelé que les recherches devaient se poursuivre et que les preuves de leur innocuité n'ayant pas encore été apportées, les insectes ne sont pas encore autorisés à entrer dans l'alimentation humaine en Europe.

Le virus de la grippe manipulé

Dans le n° 810 d'août 2014, je suis effarée à la lecture de votre article intitulé « Le virus de la grippe rendu invincible ». Le non-sens des recherches de M. Kawaoka et surtout la dangerosité de ses expériences sautent aux yeux. Comment peut-on laisser faire un savant transformé en criminel ?

Claudie Morel (30)

S. et A. : Les chercheurs qui travaillent sur le virus de la grippe n'ont pas comme objectif de supprimer des vies mais d'en sauver. Car, plus ce virus sera décrypté, mieux l'humanité sera préparée au jour où un supervirus de la grippe surgira dans la nature. Bien sûr, ces recherches recèlent un vrai risque, et certains scientifiques n'ont pas manqué de la faire remarquer, insistant sur la nécessité de travailler dans des laboratoires très sécurisés. Mais, peut-être, les travaux de M. Kawaoka fourniront-ils demain des moyens de conjurer encore plus efficacement la menace grippale.

MARINE NATIONALE/AFP

Rectificatif

Dans notre article « Méditerranée : le littoral sous la menace » (n° 810, août 2014), c'est le port de la commune de La Londe-les-Maures qui est représenté en photo et non celui de l'Ayguade à Hyères, comme indiqué dans la légende, suite à une erreur technique.

Médailles Fields

Gloire et déboires des maths françaises

C'est un paradoxe : l'excellence française en mathématiques, saluée par une 12e médaille Fields attribuée à Artur Avila, ne parvient pas à enrayer le désamour pour la discipline, ni à redresser les résultats très disparates de notre système scolaire. Enquête.

PAR
Azar Khalatbari

Et de 12 ! Le 13 août au soir, à Séoul (Corée du Sud), le Franco-Brésilien Artur Avila, 35 ans, directeur de recherche au CNRS, a offert à la France sa 12e médaille Fields. Le second palmarès au monde, juste après les États-Unis qui en ont remporté 13. De quoi faire de l'Hexagone le passage obligé de toute carrière mathématique qui se respecte. Et pourtant, la France ne peut se targuer d'être la patrie des maths : les derniers résultats (*lire* S. et A. *n° 803, janvier 2014)* du fameux test Pisa, qui évalue les élèves de 15 ans dans les pays de l'OCDE, ont placé notre pays tout juste dans la moyenne, bien loin derrière l'Europe du Nord et une grande partie des nations asiatiques... Surtout, ils ont révélé la très grande disparité qui prévaut en fonction du milieu social. « *Aucun pays ne présente un tel écart de scores entre les performances des 25 % les meilleurs, issus de milieux favorisés, et des 25 % les moins bons, provenant des couches sociales les plus modestes* », souligne Martin Andler, professeur à l'université de Versailles-Saint-Quentin. Sans oublier que les maths, dès les petites classes, font fonction d'instrument de sélection, source d'infinies angoisses pour les élèves. Alors, revient pour les pédagogues la question lancinante : comment expliquer ce qui ressemble à un paradoxe français, où l'excellence au sommet ne parvient pas à modifier l'image de la discipline et le désamour qu'elle inspire...

Des jeunes surdoués repérés très tôt

Revenons sur le parcours des médaillés Fields 2014 : trois d'entre eux, Maryam Mirzakhani, Artur Avila et Martin Heiner, ont été lauréats de concours de maths au cours de leurs années de lycée : les deux premiers – l'une en Iran et l'autre au Brésil – ont été finalistes

HISTORIQUE

Les 11 précédents lauréats français

Créé en 1936 — interrompu pendant la Seconde Guerre mondiale —, ce prix récompense tous les 4 ans, les mathématiciens de moins de 40 ans. Il y a 56 récipiendaires de cette médaille ornée du profil d'Archimède.

AFP

1950 Laurent Schwartz (décédé en 2002), pour ses travaux sur la théorie des distributions.

SIPA

1954 Jean-Pierre Serre, en géométrie algébrique et théorie des nombres. Il a reçu aussi le prestigieux prix Abel des maths.

IHES

1958 René Thom, fondateur de la théorie des catastrophes, a été distingué pour la topologie différentielle.

IHES

1966 Alexander Grothendieck, refondateur de la géométrie algébrique, refuse la médaille Fields puis le prix Crafoord.

IMJ

1982 Alain Connes pour avoir reformulé la théorie des algèbres de John von Neumann. En 2001 il reçoit aussi le prix Abel.

SEBASTIEN RUAT/CNRS PHOTOTHÈQUE

BIO EXPRESS

ARTUR AVILA Ce Franco-Brésilien de 35 ans a un cursus décoiffant : à la fin du lycée il commence un master, puis devient le plus jeune directeur de recherche du CNRS à 29 ans. Depuis, il oscille entre l'Institut de mathématiques pures et appliquées de Rio de Janeiro (Brésil) et l'Institut de mathématiques de Jussieu à Paris, où il réfléchit et discute avec ses collègues, soit à la plage soit dans les cafés. Son sujet de prédilection porte sur les systèmes dynamiques, c'est-à-dire ceux qui évoluent dans le temps. Il cherche à déterminer la probabilité que des systèmes complexes (des planètes, le climat ou la dynamique d'une population) évoluent vers tel comportement ou tel autre.

LE + NUMÉRIQUE

Retrouvez d'autres éclairages sur les lauréats de la médaille Fields sur notre site **sciencesetavenir.fr**

des Olympiades internationales de mathématiques, auxquelles participent des lycéens de 131 pays (pour l'édition 2014) ; le troisième a été lauréat du concours européen de maths Eucys. Comme Artur Avila au Brésil, l'Iranienne Maryam Mirzakhani a été très tôt repérée par une institution officielle dont le but est d'identifier les « jeunes surdoués » pour leur proposer une scolarité à part. Le pays clame sa fierté de s'illustrer aux Olympiades avec des scores plus qu'honorables : 10e sur 97 en 2013, quand la France occupe la 21e position. Comme au Brésil, le passage à l'université est sanctionné par un concours très difficile à dominante scientifique dont le résultat détermine la filière que le candidat sera autorisé à suivre et l'établissement plus ou moins prestigieux auquel il pourra accéder. *« Il est vrai qu'au niveau lycée, même nos meilleurs élèves ne font pas partie des meilleurs mondiaux »*, reconnaît Martin Andler. Mais après, tout va très vite : *« Le système des classes préparatoires scientifiques vers lesquelles s'orientent en général les élèves bons en maths fait toute la*

SIGNATURES

1994 Jean-Christophe Yoccoz, lauréat pour ses travaux sur les systèmes dynamiques. Il avait été reçu premier au concours de l'ENS et à l'agrégation.

1994 Pierre-Louis Lions, pour ses travaux sur les équations différentielles partielles comme l'équation de Boltzmann ou de Navier-Stokes.

INRIA

2002 Laurent Lafforgue, pour sa contribution jugée exceptionnelle dans le domaine de la théorie des nombres en lien.

SIPA

2006 Wendelin Werner, pour ses travaux sur les phénomènes probabilistes, comme les marchés aléatoires.

AFP

2010 Ngo Bao Chau, franco-vietnamien, pour avoir démontré en 2008 le « lemme fondamental », pour lequel il avait déjà reçu le Clay Research Award.

AFP

2010 Cédric Villani, pour ses travaux sur la physique statistique, l'équation de Boltzmann et l'amortissement de Landau *(lire p. 12)*.

STÉPHANE GRANGIER/AFP

INTERVIEW

CÉDRIC VILLANI DIRECTEUR DE L'INSTITUT HENRI-POINCARÉ, PROFESSEUR À L'UNIVERSITÉ CLAUDE-BERNARD, À LYON

Quatre pistes pour donner le goût des maths

PLUS DE LIBERTÉ PÉDAGOGIQUE « La confiance accordée aux enseignants est un ingrédient clé de la réussite d'un système éducatif. Cela implique qu'ils aient le temps et les moyens de faire leurs propres expériences pédagogiques, en s'inspirant des excellentes recherches françaises sur le sujet. C'est encore plus important en cette ère numérique pleine d'opportunités nouvelles ! »

UN DROIT A L'ERREUR « En mathématiques tout particulièrement, l'élève doit essayer et se tromper, avant de réussir. Cela demande de l'indulgence et des encouragements. Les enseignants américains l'ont bien compris (souvent dans l'excès !) ; à nous de nous en inspirer. »

FAVORISER LES ÉCHANGES « Les quatre médaillés Fields de cette année représentent plus de dix nations différentes : belle illustration du pouvoir formateur des échanges internationaux.
En Europe, nos opportunités extraordinaires d'échanges restent sous-employées, en particulier entre l'Est et l'Ouest. Le contact culturel intereuropéen, généralisé dès le collège, sera un progrès majeur. »

VALORISER LE CONCRET « Les mathématiques sont un formidable outil pour tous ; c'est beau de les voir, à l'occasion, à l'œuvre dans des projets techniques. Il est urgent de redécouvrir tout ce qu'il y a de beau dans les formations à l'artisanat et aux métiers techniques. » **Propos recueillis par A. Kh.**

différence : trente heures de cours hebdomadaire, alors que les élèves de la fameuse université de Cambridge, en Grande-Bretagne, n'en ont que douze. Ce n'est certes pas un encouragement à l'autonomie, ni aux sciences expérimentales et pas vraiment à l'innovation, convient le mathématicien, *mais cela constitue une formation extrêmement solide du point de vue théorique.* » Ensuite, les meilleurs intègrent les Écoles normales supérieures puis les universités où ils font leur thèse avec de brillants chercheurs, très souvent eux-mêmes lauréats de la médaille Fields quelques années plus tôt. En tout environ 150 sélectionnés par an forment le vivier de l'excellence mathématique : les Yoccoz, Lions, Villani en sont tous issus...

> « Tout au long du parcours d'enseignement, la France pratique l'humiliation reconstructrice »
> **Martin Andler,** professeur à l'université de Versailles-Saint-Quentin

Mais « *produire des scientifiques au meilleur niveau est un exercice d'un tout autre genre que de s'assurer que toute la population est formée de façon minimale* », explique Jean-Pierre Bourguignon, mathématicien et ancien directeur de l'Institut des hautes études scientifiques. En effet, à l'autre bout de l'échelle, dans les petites classes, le tableau est chamboulé... Commençons par l'esprit général. « *En France, tout au long du parcours d'enseignement, nous pratiquons "l'humiliation reconstructrice", tandis que le système éducatif américain, par exemple, est fondé sur "le renforcement positif"* », explique Martin Andler qui a enseigné des deux côtés de l'Atlantique. Le premier mise sur le fait que l'élève sanctionné et humilié se reprendra pour faire mieux qu'avant. En ligne de mire, la marge de progression future, sans tenir compte du chemin parcouru. C'est le « peut mieux faire » si souvent annoté dans les carnets. La méthode américaine, inspirée du comportementalisme (« behaviorisme »), mise sur le plaisir et l'encouragement de l'élève. S'il est félicité pour les progrès déjà effectués, il y prendra goût et ira loin. Il apparaît ensuite que « *les Français ont la passion de l'évaluation, les périodes d'examens y durent jusqu'à six fois plus longtemps qu'outre-Atlantique, par exemple* », poursuit Martin Andler. Résultat, deux attitudes : soit une formidable envie d'avancer pour quelques-uns qui se prennent au jeu et exploitent leurs facilités, soit une souffrance pour les autres. Une souffrance gratuite, qui ne fait pas grimper le niveau général en maths. Et pour cause : « *le savoir ne se constitue pas dans la douleur* », clame André Antibi, professeur de mathématiques à l'université de Toulouse, didacticien et inventeur du concept de « constante macabre ».

Apprentissage et évaluation sont confondus

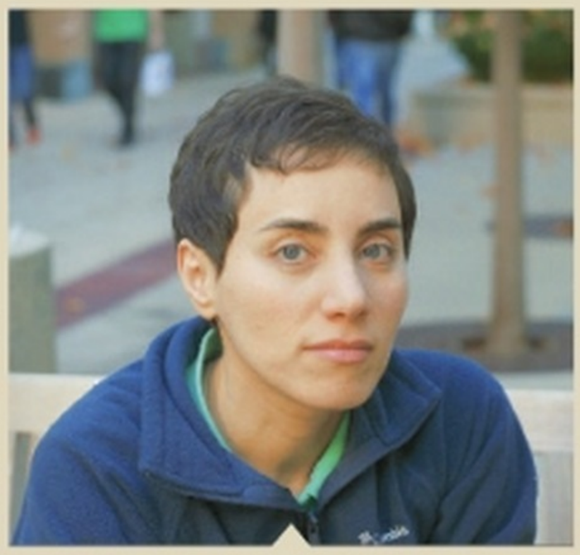
C'était il y a plus d'un quart de siècle. Alors prof de maths, très attaché à ses élèves, André Antibi se rend progressivement compte que ses collègues et lui-même imposent inconsciemment un taux d'échec de 50 % à leurs élèves. Il le baptise aussitôt « constante macabre ». « *Je concevais des devoirs où la moyenne était autour de 10/20.* » Les notes se trouvent donc peu ou prou réparties selon une « gaussienne », la fameuse courbe en cloche symétrique qui représente la distribution statistique de nombre de paramètres naturels telle la taille d'une classe d'âge, par exemple. Pour les évaluations, l'enseignant se rend compte qu'il s'arrange inconsciemment pour qu'elle

LES AUTRES LAURÉATS DE 2014

Équations, géométrie et théorie des nombres

UNIVERSITY OF WARWICK

Martin Hairer, d'origine autrichienne, travaille sur les équations aux dérivées partielles stochastiques qui relient une variable et ses différentes évolutions et contiennent un terme aléatoire (stochastique).



STANDFORD UNIVERSITY

Maryam Mirzakhani, première femme lauréate, enseigne à l'université de Stanford. Cette Iranienne travaille en géométrie hyperbolique. Ce domaine regroupe des objets aux formes bizarres (donuts, selles de cheval...).

PRINCETON UNIVERSITY

Manjul Bhargava L'Américano-Canadien Manjul Bhargava, professeur à l'université de Princeton, est spécialiste de la théorie des nombres, qui concerne les propriétés des nombres entiers.

soit centrée sur 10, autrement dit l'échec de la moitié des élèves. « *Malgré moi, je mettais 50 % de mes élèves en situation d'échec, car nous confondons l'apprentissage et l'évaluation,* explique-t-il aujourd'hui. *La vitesse d'apprentissage des élèves – un phénomène naturel – obéit bien à la fameuse courbe en cloche. Mais il n'y a aucune raison que l'évaluation, qui ne dépend pas d'un paramètre naturel, obéisse à cette loi. Une fois que l'élève lent a bien assimilé les connaissances, pourquoi devrait-il être sanctionné ?* »

André Antibi propose donc une forme d'évaluation nouvelle, qu'il appelle « par contrat de confiance ». Elle consiste à fournir à l'élève une synthèse des connaissances fondamentales et à l'évaluer – pour au moins quatre questions sur cinq – en piochant exactement au sein de ce socle. Aujourd'hui, pour la première fois, André Antibi a le sentiment qu'il a fini par être entendu. Plusieurs recteurs d'académie préconisent sa méthode et le ministre Benoît Hamon lui-même a fait des déclarations dans ce sens. Sauf que... ayant pris le pli, ce sont bien souvent les parents d'élèves qui exigent une évaluation sévère ! Difficile de changer les habitudes en matière d'école.

Une expérience périscolaire fondée sur le volontariat

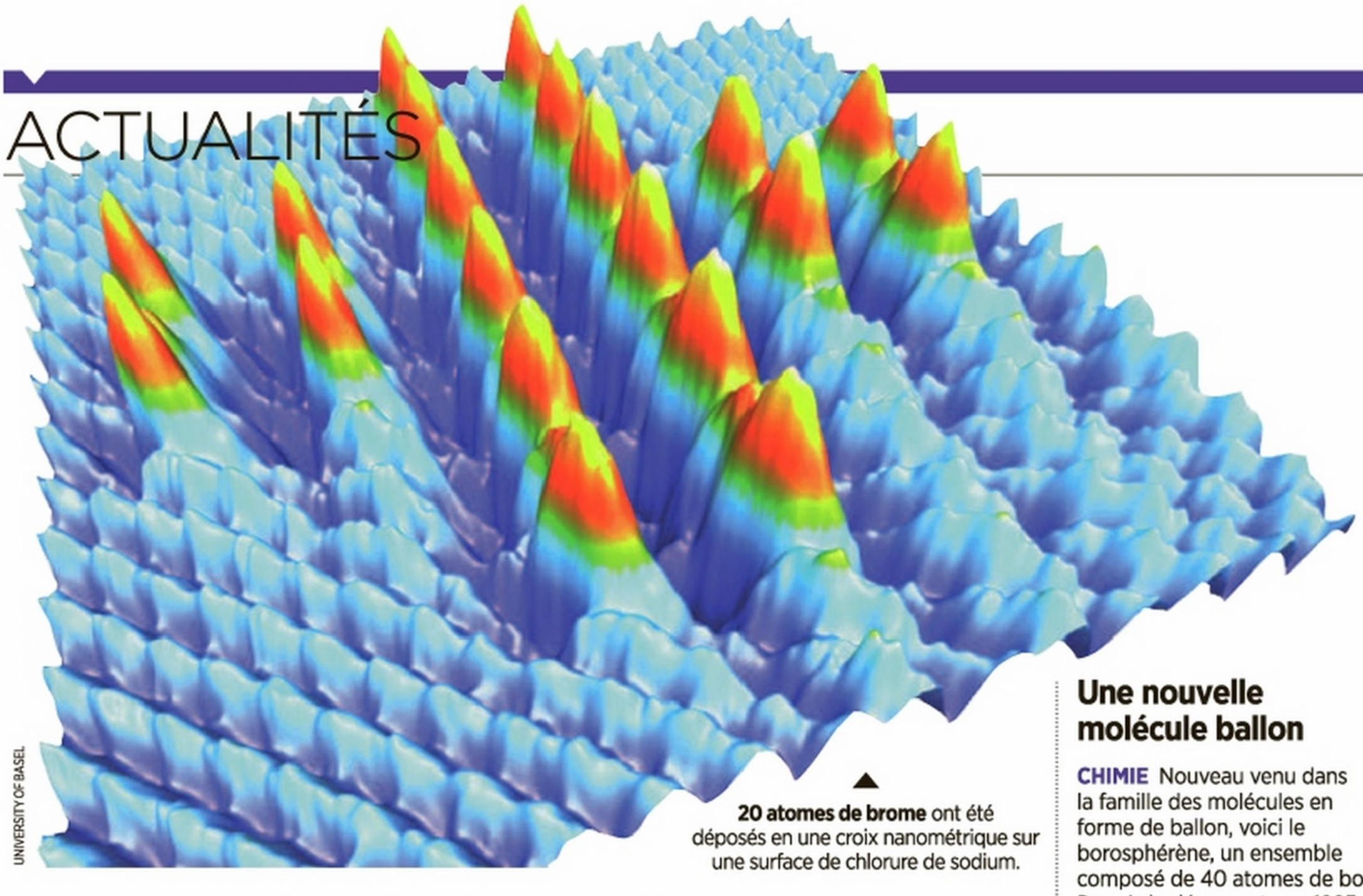
L'équation impose de surcroît un autre défi de taille : parvenir, dans le même temps, à ne pas dégoûter la masse des élèves tout en satisfaisant les « matheux » – futur vivier de médailles Fields. Dans un pays qui n'a pas d'institution pour dénicher les talents précoces, il faut innover. Depuis quelques années, la France s'inspire du « projet Chicago » porté par Charles Torosian, un inspecteur général en mathématiques de l'université de Chicago dans l'Illinois (États-Unis) qui a mis en place des camps d'été quasi gratuits pour les bons élèves issus de milieux défavorisés. « *L'objectif est de créer un système d'organisation périscolaire pour permettre à ces derniers – sur la base du volontariat – de faire plus de maths* », explique Martin Andler. En France l'expérience, « maths C2+ » lancée en 2011, concerne 20 à 30 stages par an, rassemblant 1142 élèves en 2013.

PALMARÈS

- **États-Unis**
  13 médailles
- **France**
  12 médailles
- **Fédération de Russie et URSS**
  6 médailles
- **Royaume-Uni**
  5 médailles
- **Japon**
  2 médailles

C'est qu'au final, l'enjeu des maths est bien plus important. Selon les travaux d'Eric Hanushek, économiste du savoir à l'université de Stanford (États-Unis), on peut mettre en évidence une corrélation entre la croissance économique d'un pays et ses scores dans les tests Pisa. Même s'il ne faut pas confondre corrélation et causalité, comme le rappelle la sociologue des savoirs à Science Po-Paris, Marie Duru-Bellat : « *Prenons l'exemple du Nigeria et du Soudan, c'est à la guerre que leur croissance est due...* »

Reste que la France, pour relancer son industrie, a plus que jamais besoin d'ingénieurs. Or, le dégoût des maths dès les petites classes peut détourner de cette voie : « *D'après les tests Pisa, les élèves français font partie de ceux qui se sentent le moins soutenu,* souligne la sociologue. *Rien d'étonnant à cela, la dimension pédagogique du métier d'enseignant a toujours été méprisée. L'agrégation en maths ne fait pas forcément des professeurs capables de transmettre la passion de leur discipline.* » L'équation à résoudre n'est pas si simple. ■



UNIVERSITY OF BASEL

20 atomes de brome ont été déposés en une croix nanométrique sur une surface de chlorure de sodium.

Manipulation d'atomes à température ambiante

En s'affranchissant de la contrainte de travailler en froid extrême, les physiciens préparent l'électronique du futur.

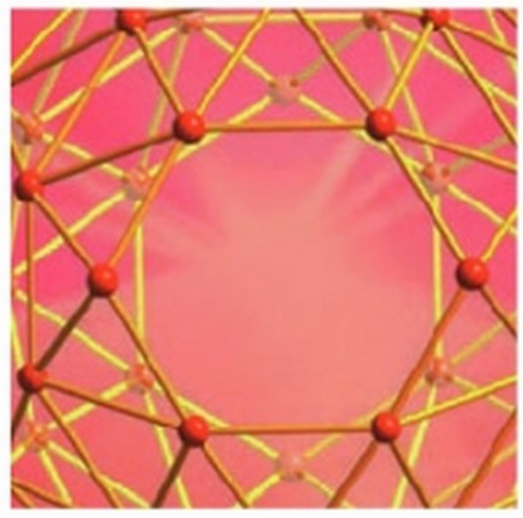
NANOTECHNOLOGIE Avec la réalisation de cette minuscule « croix suisse » d'une surface de 5,6 nanomètres carrés, les chercheurs ont fait un progrès décisif dans la maîtrise de la matière. Depuis les années 1990, les physiciens savent positionner avec précision des atomes sur une surface en opérant à une température proche du zéro absolu (-273°C), des conditions qui permettent de minimiser l'agitation thermique des particules pour faciliter leur manipulation. Mais accomplir la même opération à température ambiante restait une gageure. C'est désormais chose faite grâce aux efforts conjoints d'équipes de recherche finlandaise, japonaise et suisse. Elles sont parvenues à déposer 20 atomes de brome sur une surface de chlorure de sodium (NaCl) à l'aide d'un microscope à force atomique. Plus précisément, certains atomes de chlore ont été remplacés par des atomes de brome. C'est la première fois qu'un si grand nombre d'atomes est manipulé à température ambiante sur un isolant.

Cette réalisation représente un pas important vers une nouvelle génération de systèmes électromécaniques, notamment des dispositifs de stockage de données à l'échelle atomique. En 2012, la société IBM avait réussi à stocker un bit sur un assemblage de 12 atomes. **A. B.**

Une nouvelle molécule ballon

CHIMIE Nouveau venu dans la famille des molécules en forme de ballon, voici le borosphérène, un ensemble composé de 40 atomes de bore. Depuis la découverte en 1985 du footballène (60 atomes de carbone), les scientifiques ont fabriqué d'autres composés de ce type à base d'uranium ou de silicium, mais seul le borosphérène offre une « cage » moléculaire aussi large que le footballène. Il pourrait permettre de stocker certaines molécules, comme l'hydrogène pour l'alimentation des piles à combustible. **A. B.**

SOURCE HUA-JIN ZHAI, UNIVERSITÉ DE SHANXI (CHINE).



BROWN UNIVERSITY

NASA/AP/SIPA

L'équipage de l'ISS manquerait de sommeil.

Les astronautes américains sous somnifères

ESPACE Les trois quarts des astronautes américains ont recours à des somnifères pour dormir, rapporte une étude publiée dans *The Lancet Neurology*. Elle a porté sur les données recueillies auprès de 64 membres d'équipage de la navette spatiale et 21 astronautes de l'ISS, la station spatiale internationale. Il apparaît que la durée moyenne de sommeil était d'à peine six heures (5,96 h) à bord de la navette et tout juste au-dessus (6,09 h) lors de missions sur la station orbitale. Loin des 8 heures et demie de sommeil préconisées par la Nasa. *« La capacité pour un membre d'équipage à agir de façon optimale s'il est réveillé par un signal d'urgence peut être compromise par l'utilisation de somnifères »*, s'alarment les auteurs. **M. G.**

EN BREF

MATHS ET JOUEURS. Une formation aux maths pour les accros aux jeux d'argent vient d'ouvrir à l'École polytechnique de Milan (Italie). **NOUVEAU CANAL À SUEZ.** Les autorités égyptiennes ont annoncé la construction d'un canal de 72 km d'ici à 3 ans le long de celui de Suez. **TROU NOIR POUR M82.** La présence d'un trou noir de taille intermédiaire — 400 fois la masse du Soleil — vient d'être confirmée au sein de M82, une galaxie dans la constellation de la Grande Ourse.

800 milliards de masses solaires

Le poids de la Voie lactée

ESPACE Contrairement à ce que l'on pensait, la Voie lactée se révèle deux fois plus légère que sa voisine Andromède, à la taille et structure pourtant similaires. L'embonpoint de cette dernière s'expliquerait par la présence d'une plus grande quantité de matière noire, majoritairement présente à la périphérie de ces deux galaxies, une zone qui jusqu'à présent n'avait pas pu être prise en compte dans les mesures effectuées par les scientifiques. **A. B.**

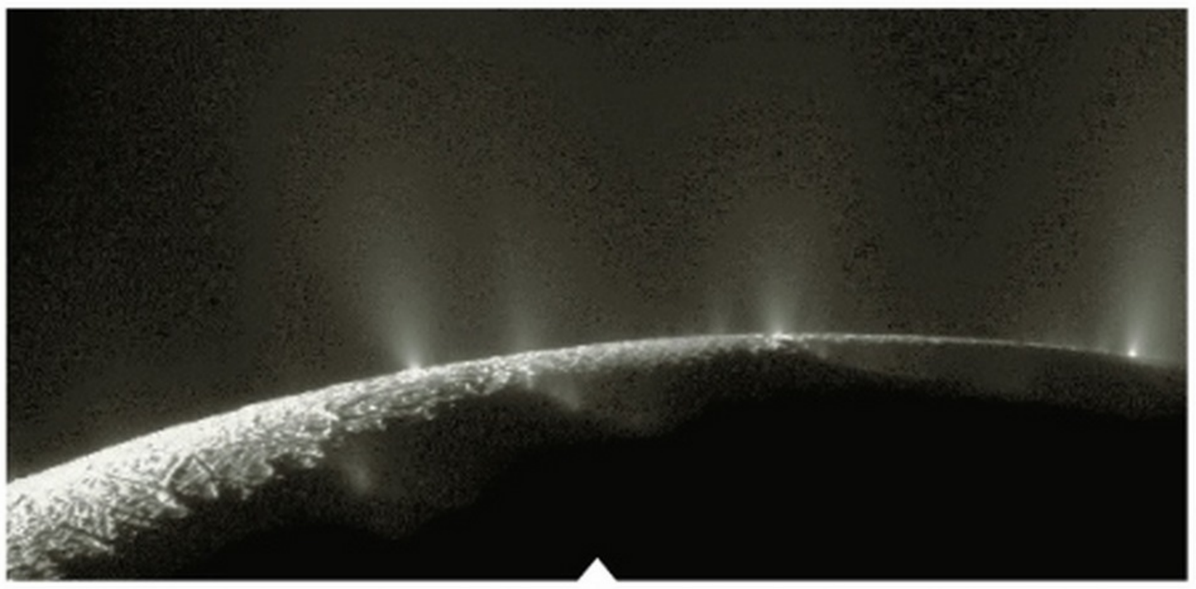
SOURCE : JORGE PEÑARRUBIA, INSTITUT D'ASTRONOMIE, UNIVERSITÉ D'ÉDIMBOURG (ROYAUME-UNI).

Plus noir que noir

MATÉRIAU Fabriquée par une société anglaise, « Vantablack » est la matière la plus noire au monde (bien plus donc que le carré nous servant d'illustration). Elle absorbe 99,96 % de la lumière, un record, et doit ses propriétés à sa surface recouverte d'un tapis de nanotubes de carbone qui font écran à la plus grande partie de la lumière. Le peu qui pénètre est piégé entre ces nanofibres. Ce matériau pourrait servir au camouflage d'engins militaires ou pour absorber la lumière qui parasite les télescopes. **A. B.**

De l'eau liquide à l'intérieur d'Encelade ?

L'analyse de jets glacés permet de penser que cette lune de Saturne recèle de l'eau dans ses profondeurs.



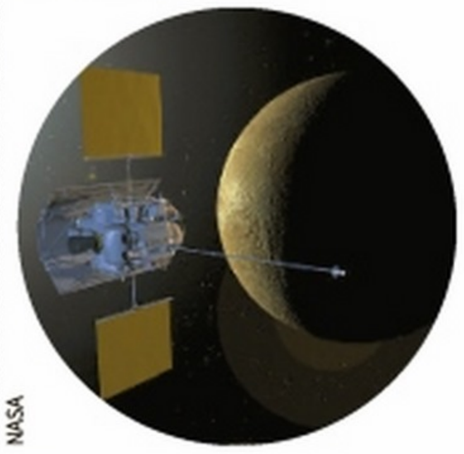
CICLOPS

Les geysers d'Encelade jaillissent à plusieurs centaines de kilomètres de hauteur.

PLANÉTOLOGIE Un océan d'eau liquide circulerait dans les profondeurs de cette petite lune glacée de Saturne, selon Francis Nimmo, de l'université de Californie à Santa Cruz (États-Unis). Ce qui pourrait expliquer les geysers de plusieurs centaines de kilomètres de hauteur jaillissant de sa surface gelée.
À l'appui de cette hypothèse, les données recueillies par la sonde Cassini permettent aujourd'hui de lever en partie le voile sur cet incroyable phénomène. L'analyse thermique révèle en effet la présence, au pied de ces jets, de points plus chauds qui seraient dus à la condensation de la vapeur d'eau. Les geysers émergeraient donc d'une source d'eau liquide faisant ainsi d'Encelade une sérieuse candidate pour la recherche de la vie. **A. B.**

Les 10 ans de Messenger

ASTRONOMIE Dix ans après son lancement, la Nasa dresse le bilan de la sonde Messenger, en orbite autour de Mercure : première photo de la face cachée de la planète, cartographie complète, découverte de dépressions qui laisseraient échapper des matières volatiles, par volcanisme ou sublimation. La planète, qui n'avait été visitée qu'une seule fois auparavant— par Mariner 10 en 1974/75 — est l'objet le plus riche en fer du système solaire. Son énorme noyau métallique — 40 % de son volume contre 17 % pour la Terre — demeure un mystère. La mission européenne BepiColombo, prévue pour 2016, aura encore du pain sur la planche. **A. Kh.**



NASA

AP/SIPA

Du gaz sous pression aurait fait céder le sol de surface.

De mystérieux cratères découverts en Sibérie

GÉOLOGIE C'est un trou béant d'environ 30 mètres de diamètre et 70 mètres de profondeur qui a été repéré mi-juillet dans les terres gelées de la péninsule sibérienne de Yamal, en Russie. Un second a été découvert depuis. D'après certains scientifiques, le réchauffement climatique serait à l'origine de leur formation. Le dégel du permafrost aurait libéré de grandes quantités de gaz, d'abord restées piégées sous le sol glacé. Sous la pression, la croûte superficielle aurait ensuite fini par céder, donnant naissance à ces gigantesques cavités. Un phénomène qui pourrait s'intensifier dans les années à venir. **A. B.**

V. FRANCIGNY/SEDEINGA MISSION

Le visage et le nom d'Amon ont tour à tour été effacés puis restitués.

Amon, un dieu chahuté

Une stèle représentant la divinité égyptienne porte à la fois les traces d'une profanation et d'une restauration.

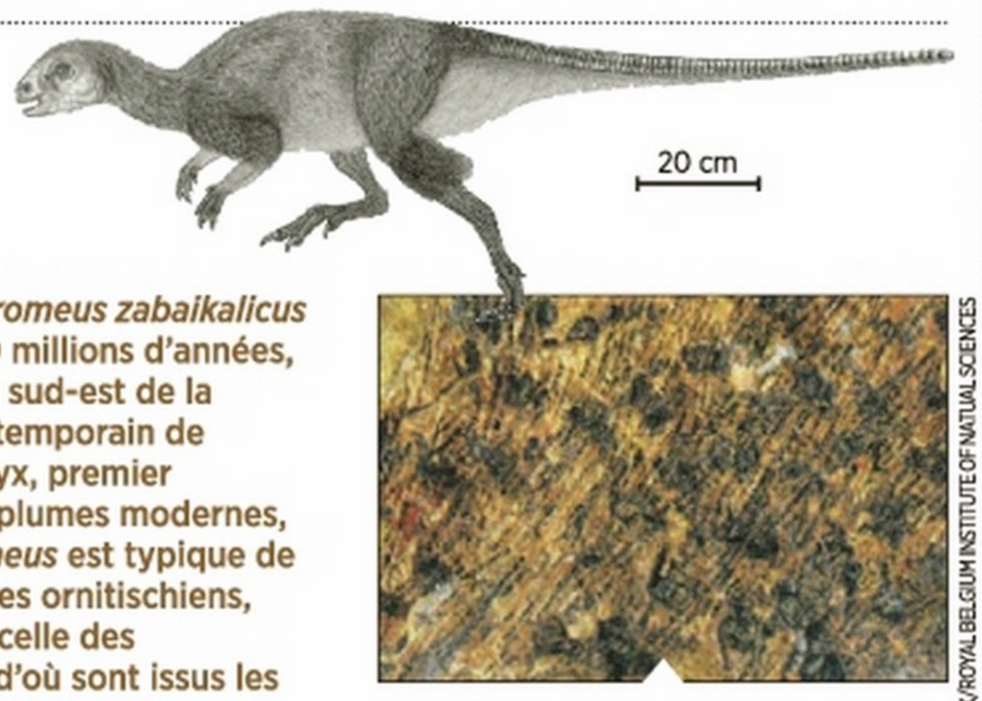
ÉGYPTOLOGIE Un bas-relief égyptien vieux de 3300 ans portant les stigmates d'une des plus importantes révolutions religieuses de l'Antiquité a été mis au jour à Sedeinga, au Soudan, au cœur d'une nécropole de l'ancienne Nubie. Sur cette stèle sculptée de 1,77 m de hauteur, on aperçoit le visage d'Amon, le dieu dont le pharaon Akhenaton (Amenhotep ou Aménophis IV), fit interdire le culte vers 1350 avant J.-C. Ses représentations et son nom furent alors effacés de tous les sanctuaires égyptiens. « *Lors du dégagement de la stèle, nous avons eu la surprise de constater que certains détails sculptés sur le bloc de grès avaient d'abord été martelés puis restaurés. En particulier le nom d'Amon et son visage* », explique Vincent Francigny (American Museum of Natural History, New York), l'archéologue français responsable des fouilles. Retrouvée à l'intérieur d'une sépulture, la stèle ornait à l'origine un temple dédié à la reine Tiyi (la mère d'Akhenaton). À peine Akhenaton l'« iconoclaste » disparu, son fils Toutankhamon faisait réhabiliter le culte de l'ancien dieu, permettant à Amon de retrouver son visage. **B. A.**

Les griffes de la mort

L. ALVITRES/REUTERS

PRÉCOLOMBIENS Ces griffes cauchemardesques ont été exhumées dans une tombe de dignitaire Moche, une culture précolombienne péruvienne. Rencontrées aux abords de la Huaca de la Luna — une imposante pyramide —, elles faisaient partie d'un ensemble funéraire vieux de 1500 ans. Selon l'archéologue Claude Chauchat (CNRS), ces « gants » étaient utilisés lors de duels rituels, qui s'achevaient immanquablement par l'immolation des vaincus. Ces sacrifices humains étaient censés prévenir le déchaînement des forces de la nature. **B. A.**

Et si tous les dinosaures avaient des plumes ?



P. COLLWALUX/ROYAL BELGIUM INSTITUTE OF NATUAL SCIENCES

Des filaments (en noir) ressemblant à des plumes ont été retrouvés sur un fossile de « K. zabaikalicus ».

PALÉONTOLOGIE La mise en évidence de filaments ressemblant à des protoplumes chez un dinosaure n'ayant aucun lien de parenté avec les oiseaux suggère que les plumes ont une origine très ancienne. Pascal Godefroit, de l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique, à Bruxelles, et ses collègues décrivent dans la revue *Science* ces structures sur des fossiles de *Kulindadromeus zabaikalicus* vieux de 160 millions d'années, retrouvés au sud-est de la Sibérie. Contemporain de l'archéoptéryx, premier dinosaure à plumes modernes, *Kulindadromeus* est typique de la branche des ornitischiens, distincte de celle des théropodes d'où sont issus les oiseaux. Ces filaments ont probablement joué un rôle d'isolant thermique. **P. K.**

Des lignes dans le vent

GÉOGLYPHES Des vents violents et une tempête de sable ont permis la découverte de nouveaux géoglyphes dans la province de Nazca, au Pérou. En particulier, un serpent de 60 m de long, un oiseau et ce qui pourrait être des lamas. Repérées lors d'un survol par un pilote et un archéologue amateur, ces figures auraient été tracées entre 450 et 600. **B. A.**

E. HERTZ, SKANDERBORG MUSEUM

À VOIR SUR TABLETTE

Les guerriers mutilés des marais

PALÉOPATHOLOGIE Carcasses décharnées, crânes écrasés, bassins empalés sur des pieux... Depuis 2012, les dépouilles d'un millier de guerriers (Ier siècle de notre ère) portant des traces de grande violence sont régulièrement exhumées des tourbières de la région des lacs d'Alken-Enge, dans le Jutland (Danemark). Mutilés, ces corps ont été démembrés avant d'être jetés dans les marais. Pour les archéologues de l'université d'Aarhus, ces pratiques macabres seraient en rapport avec les guerres qui ont déchiré les tribus germaniques soumises à la pression exercée par l'avancée romaine. De telles violences sur les corps des ennemis vaincus ont été décrites par l'historien romain Tacite (56-120) à propos des peuples germaniques. L'excellent état de conservation des restes devrait permettre des analyses génétiques pour en savoir plus sur ces hommes. **B. A.**

CHINESE ARCHEOLOGY

Un tertre long de 150 m recouvrait les tombes.

Chine : mise au jour d'une tombe prestigieuse

ARCHÉOLOGIE C'est un véritable trésor constitué de milliers d'objets précieux en laque, jade, bronze, or ou argent qui a été extrait d'un mausolée situé dans la province littorale du Jiangsu, en Chine. L'existence de ce trésor, étudié entre 2009 et 2011, vient seulement d'être révélée. Il appartenait à Liu Fei. Mort en 128 avant J.-C., ce fils de l'empereur Gaozu des Han gouvernait le royaume du Jiangdu. Le site comptait trois tombes principales et onze secondaires ainsi que deux fosses à chars et chevaux et deux fosses à armes. Bien que la tombe ait été pillée à de multiples reprises, plusieurs salles recelaient encore des armes (arbalètes, hallebardes, boucliers, épées), ainsi que des instruments de musique en bronze. Dans l'une des sépultures, un « cercueil de jade », formé de plaques de gemmes cousues, a été trouvé en très bon état. **B. A.**

La première inscription arabe

PALÉOGRAPHIE C'est peut-être la plus ancienne inscription en alphabet arabe. Datée du Ve siècle de notre ère, elle a été découverte par une équipe franco-saoudienne au nord de Najran, en Arabie saoudite, près de la frontière du Yémen. Selon l'épigraphiste Frédéric Imbert (université d'Aix-Marseille), ce texte gravé sur une plaquette de pierre serait écrit dans une forme intermédiaire entre le nabatéen et l'alphabet arabe, stade premier de cette écriture. **B. A.**

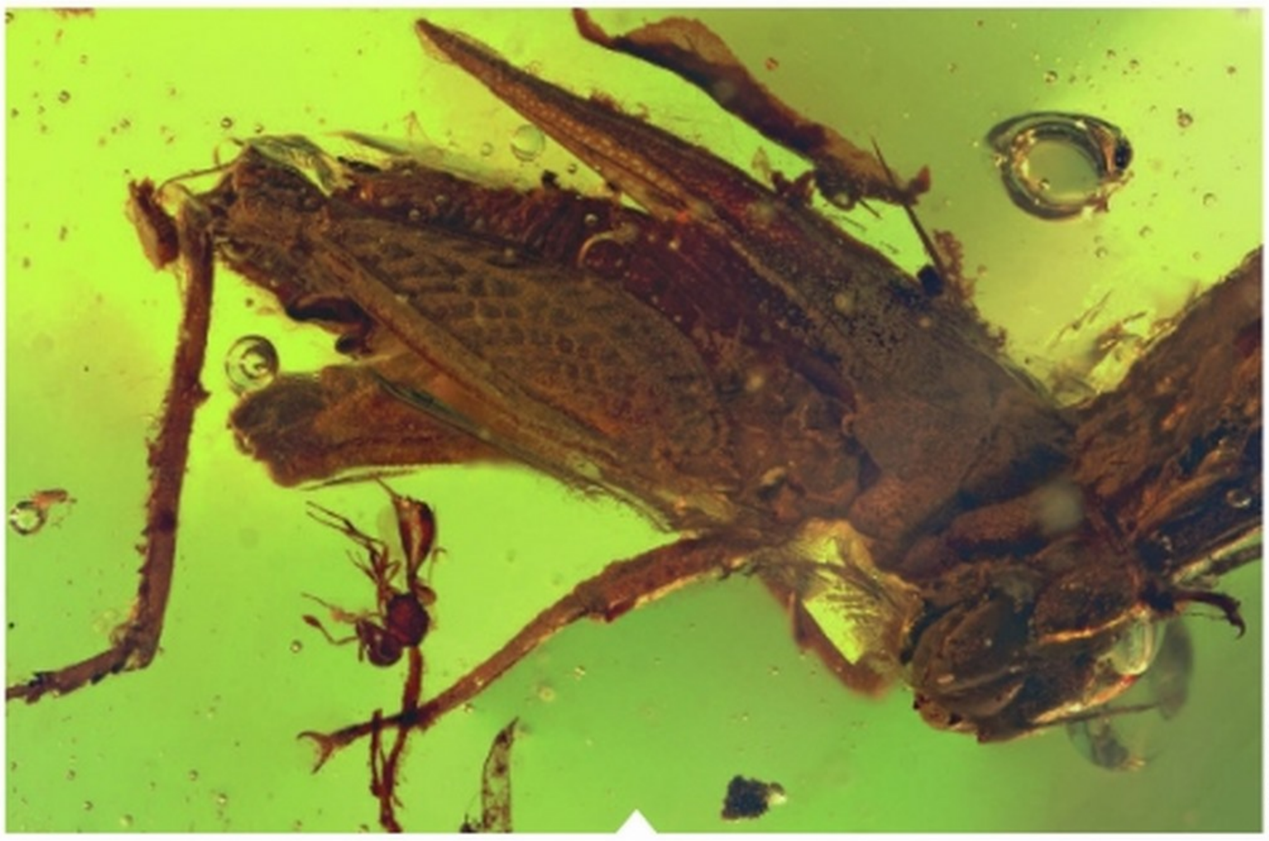
197 235 euros

L'amende pour pillage d'antiquités

Un vigneron de la Marne a été condamné à verser une forte amende pour « fouilles non autorisées » après avoir pillé des centaines d'objets sur des sites archéologiques, essentiellement des pièces de monnaie. Le tribunal correctionnel de Meaux (Seine-et-Marne) a également condamné cet homme de 60 ans à une peine de six mois d'emprisonnement avec sursis. **B. A.**

L'ambre, piège à insecte

Une surprenante collection d'insectes « pétrifiés » depuis 20 millions d'années a été redécouverte.



SAM W. HEADS ET AL.

« Electrotettix attenboroughi » possédait des sortes d'ailes non fonctionnelles.

ÉVOLUTION Guêpes, fourmis, moucherons..., c'est tout un « monde perdu » figé dans l'ambre depuis 20 millions d'années que ramène à la lumière une équipe d'entomologistes de l'université d'Urbana-Champaign (États-Unis). Depuis 2010, ces chercheurs réexaminent en effet une collection d'ambre rapportée de République dominicaine dans les années 1950. Cet inventaire leur a déjà permis de découvrir une petite sauterelle baptisée *Electrotettix attenboroughi*. Très bien conservé, ce spécimen dont l'analyse a été publiée dans la revue *Zookeys* représente une étape intermédiaire de l'évolution des criquets et sauterelles. Les plus anciens représentants de cette sous-famille avaient des ailes, alors que leurs homologues modernes en sont dépourvus. Le fossile piégé dans l'ambre possède des sortes d'ailes. Non fonctionnelles, elles avaient déjà perdu leur fonction première. Selon Sam Heads, paléontologue à l'université de l'Illinois : *« Les insectes fossiles peuvent nous renseigner sur l'évolution et l'écosystème du monde préhistorique, sans doute mieux que les os de dinosaures. »* **J. I.**

Monuments irakiens en péril

PATRIMOINE L'avancée fulgurante, depuis le 8 juin, des combattants de l'État islamique (EI) dans le nord de l'Irak s'est accompagnée d'un cortège de destructions de monuments historiques, civils comme religieux. Ainsi la mosquée du Prophète Younis (Jonas), située à Mossoul, a-t-elle été démantelée à l'explosif *(voir la photo ci-dessous)*. Le patrimoine archéologique est également en danger. Qais Hussein Rachid, directeur général du Centre du patrimoine irakien, a ainsi affirmé qu'à Mossoul, le deuxième plus important musée du pays avait été saccagé. Plusieurs sites irakiens sont inscrits sur la liste du patrimoine mondial, et les craintes sont très grandes de la part des autorités. **B. A.**

REUTERS

Une chauve-souris dorée

RICARDO MORATELLI

SYSTÉMATIQUE *Myotis midastactus* vient de gagner ses galons d'espèce distincte. Jusqu'ici confondue avec une autre chauve-souris pareillement chamarrée d'Amérique du Sud (*Myotis simus*), elle vient d'être déclarée endémique à la Bolivie par des chercheurs. Doté d'un pelage spectaculairement doré, ce petit mammifère semble avoir fréquenté le roi Midas dont la légende veut qu'il transformait tout ce qu'il touchait en or. **L. C.**

LE TERME DU MOIS

« Coal Rolling »

9KRACKING

S'opposant à la politique écologique de Barack Obama, des propriétaires américains de pick-up, essentiellement des conservateurs républicains, trafiquent leurs gros 4x4 pour qu'ils relâchent la fumée la plus noire et la plus toxique possible dans l'atmosphère. C'est principalement dans l'Arizona et dans l'Idaho que le mouvement du « charbon roulant » connaît le plus de succès. Deux États où résistent les « climatosceptiques » les plus acharnés. **H. R.**

D.PIKE/NATUREPL/EBPHOTO

Les macaques vivant dans la zone contaminée présentent une baisse de leurs défenses immunitaires.

Des macaques irradiés à Fukushima

Une importante concentration en césium a été décelée dans les muscles de 60 singes vivant à 70 kilomètres de la centrale accidentée.

NUCLÉAIRE L'exposition à des radioéléments à faible dose peut entraîner une baisse des défenses immunitaires, selon l'École vétérinaire de Tokyo. Elle a procédé à des analyses de sang sur un groupe de 60 singes *Macaca fuscata* vivant dans des forêts situées à 70 kilomètres de la centrale nucléaire accidentée de Fukushima. Les premiers résultats publiés sur le site de la revue *Nature* révèlent des concentrations en césium dans les muscles de ces animaux variant de 78 à 1178 becquerels par kilo selon les individus. Pour comparaison, les chercheurs ont capturé des macaques de la même espèce vivant dans les forêts de la péninsule de Shimokita, à 400 kilomètres au nord de la centrale. Et ces singes-là ne présentent aucune trace de matière radioactive détectable. De plus, les teneurs en globules blancs et rouges, ainsi que les taux d'hématocrite et d'hémoglobine sont beaucoup plus faibles chez les primates riverains de la centrale. « *Comme il n'a pas été détecté de césium dans les muscles des singes de Shimokita, ces faibles valeurs hématologiques pourraient être attribuées à l'effet de matières radioactives* », avancent les chercheurs. **Loïc Chauveau**

EN BREF

SANTÉ ANIMALE. Quand ils hibernent, les grizzlis deviennent diabétiques avant de « guérir » au printemps, selon une étude américaine. **LUTTE ANTIPOLLUTION.** La norme Euro 6 visant à assainir les véhicules Diesel entre en vigueur en septembre. **MOINS DE « NUISIBLES ».** Fouine et corneille font partie des 6 espèces qui sortent de la liste des « nuisibles » dans certains départements français.

La rascasse volante bonne à manger

ICHTYOLOGIE Originaire du Pacifique, la rascasse volante, *Pterois volitans,* est une espèce de poisson carnivore invasive dans les Caraïbes où sa prolifération menace les espèces locales des massifs coralliens. Et jusqu'à très récemment, on la croyait très venimeuse car porteuse de la ciguatera, toxine provoquant des intoxications alimentaires potentiellement mortelles. Or, après analyse par des chercheurs de l'université de Hawaii, les composés de son venin apparaissent très différents de ceux de la ciguatera. Ce résultat ouvre de nouvelles perspectives de lutte contre l'intruse. Le meilleur moyen de limiter sa diffusion serait en effet de la manger, sa chair étant comestible. **L. C.**

P.OXFORD/NATUREPL/EBPHOTO

◀ **La rascasse volante** cause des ravages parmi les espèces coralliennes des Caraïbes.

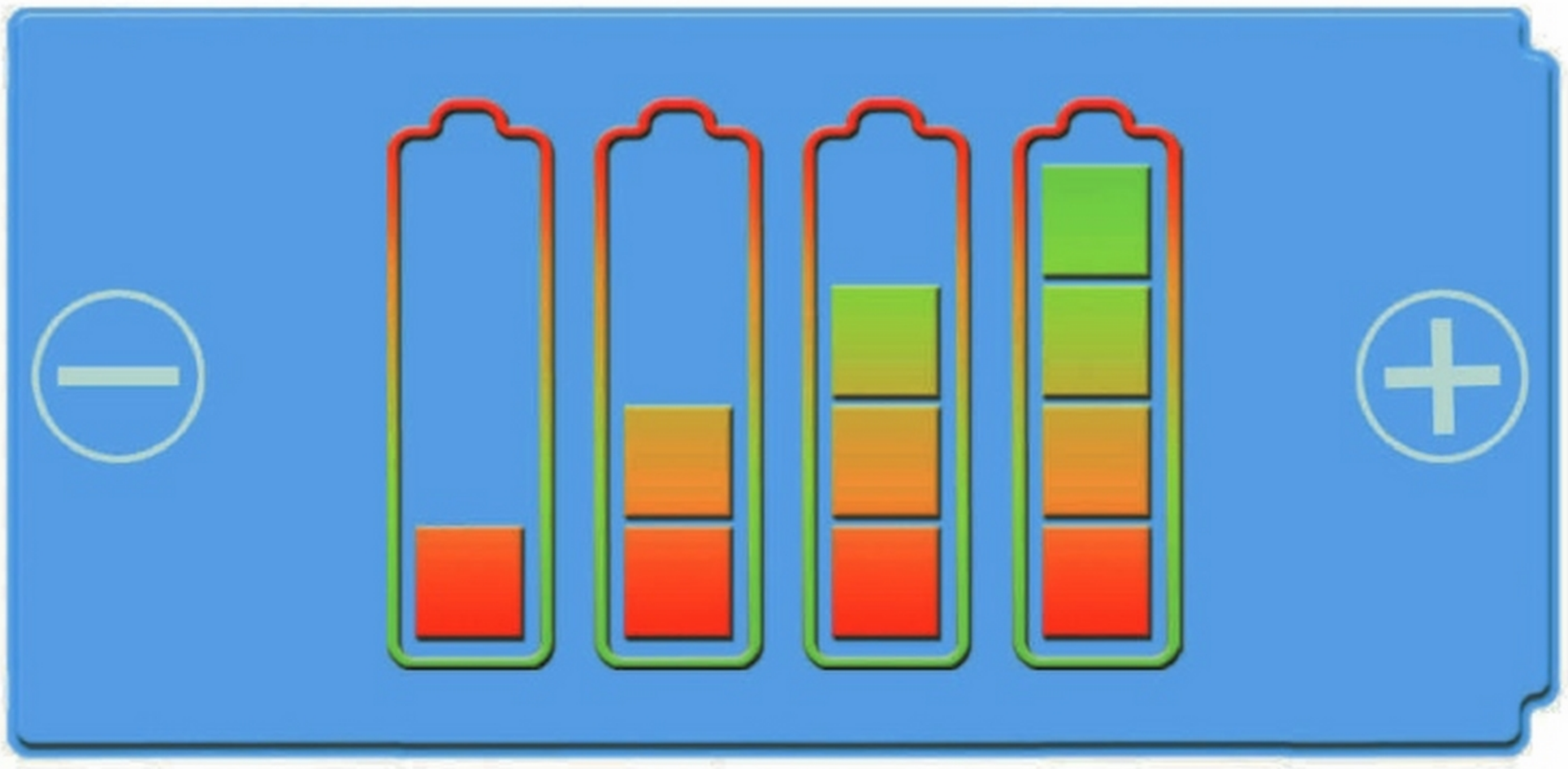
FONDATION ÉCOLOGIE D'AVENIR

INSTITUT DE FRANCE

COLLOQUE

CONVERSION ET STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE DE L'ÉNERGIE : ENJEUX ET DÉFIS

Sous la direction de **JEAN-MARIE TARASCON** (Collège de France)



Avec la participation de :

Jean Claude Grenier (ICMCB Bordeaux), Dominique Larcher (UPJV-Amiens), Stéphane Lascaud (EDF Store and Forecast), Patrice Simon (CERIMAT-Toulouse) etc...

Jeudi 9 octobre 2014
15H-19H

LA MAISON DU BARREAU
4 RUE DE HARLAY - 75001 PARIS

WWW.FONDATIONECOLOGIEDAVENIR.ORG

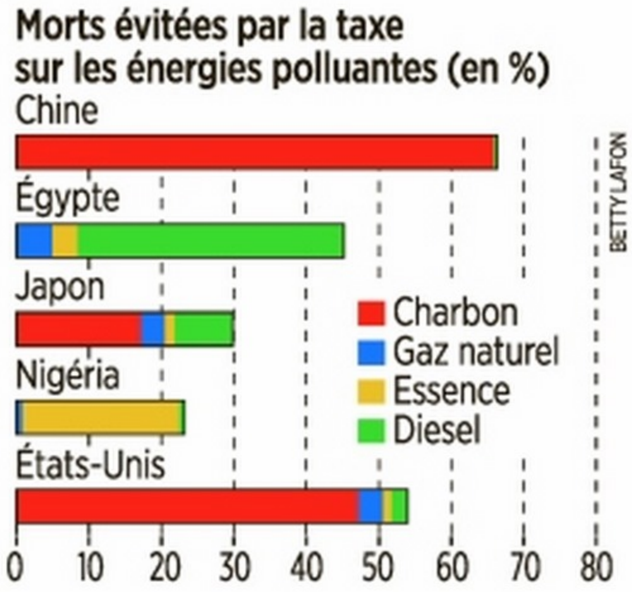
Entrée gratuite - réservation obligatoire

L'écotaxe peut sauver des vies

Selon le FMI, une taxation plus forte de la combustion du charbon, du pétrole et du gaz aurait des effets sanitaires bénéfiques.

AP-SIPA

Jour de pollution à Harbin (Chine). Des taxes pourraient réduire des deux tiers les décès dus à la pollution de l'air en Chine.



ÉNERGIE N'en déplaise aux « bonnets rouges » bretons qui s'étaient vivement opposés à ce type de mesures l'hiver dernier, le FMI vient de publier un plaidoyer en faveur des écotaxes poids lourds et autres impôts carbone (la France, forte consommatrice d'énergie nucléaire, n'était pas étudiée). Son rapport, publié le 31 juillet, dénonce le fait que les prix de l'énergie ne prennent pas en compte les effets environnementaux et sanitaires des énergies fossiles, du pétrole et du gaz. *« Selon nos estimations, au niveau mondial, passer des prix actuels à des niveaux prenant en compte les dommages permettrait de réduire de 63 % les décès dus à la combustion d'énergies fossiles, de 23 % les émissions de gaz à effet de serre, tout en augmentant le PIB mondial de 2,6 % »*, assure l'économiste Victor Gaspar. **L. C.**

La cinquième patte du kangourou

BIOMÉCANIQUE Pour aller vite, le kangourou saute sur ses pattes arrière, mais il peut aussi courir sur ses quatre pattes. Dans ce cas, sa queue lui est d'un grand secours comme l'ont découvert des chercheurs canadiens. La course du kangourou *(schéma ci-dessous)* montre que, penché sur ses deux pattes avant, alors que ses pattes arrière n'ont pas encore pris appui, le marsupial retomberait en arrière sans une poussée de sa queue vers le haut. Selon les mesures des chercheurs, l'énergie rendue par la queue équivaut à celle d'une jambe humaine dans la marche. **P. K.**

FOWLERS DAP - S. FRASER UNIVERSITY

SIPA

Ceci n'est pas un selfie

ÉTHOLOGIE Cette image prise par le singe lui-même n'est pas un « selfie » (autoportrait), contrairement à ce qu'on a lu partout. À l'inverse des chimpanzés, *« les macaques ne reconnaissent pas leur reflet,* précise Frans de Waal, de l'université Emory (États-Unis). *Mais très intéressés, ils grimacent, à l'instar de ce singe, comme pour communiquer avec "l'autre". »* **R. M.**

Le purin d'ortie légalisé

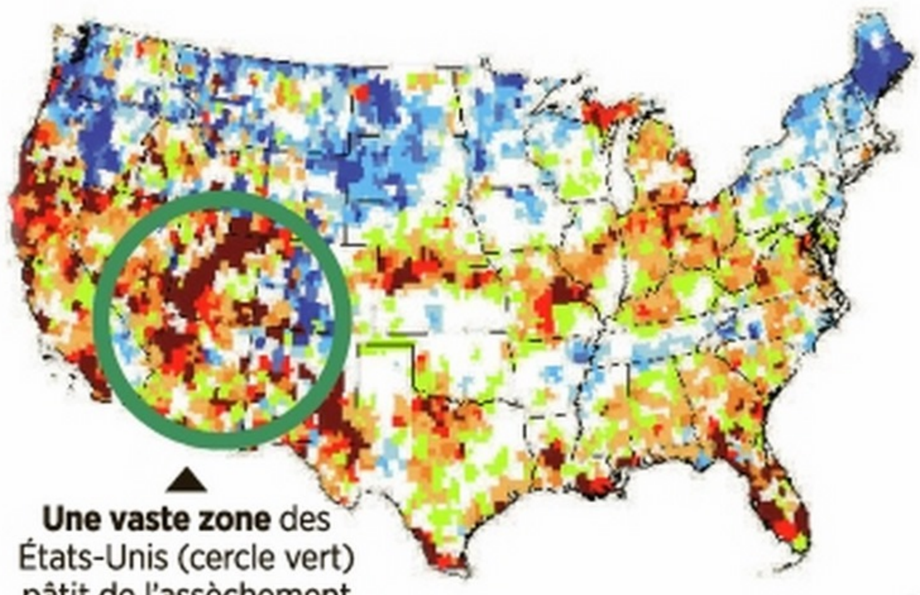
AGRONOMIE Fin de 8 ans de guérilla juridique en France. La loi d'avenir sur l'agriculture, adoptée par le Sénat le 24 juillet, classe le purin d'ortie et autres « préparations non préoccupantes » dans la catégorie des « biostimulants » et non plus des produits phytosanitaires. Cela permet à ces potions, tisanes et huiles utilisées par les agriculteurs et viticulteurs « bio » d'éviter de passer par les procédures administratives d'autorisation lourdes et onéreuses. **L. C.**

+ 9 %

La croissance annuelle de l'agriculture bio en France

Avec un million d'hectares cultivés, le « bio » représente près de 4 % de la surface agricole utile, 5,4 % des exploitations et plus de 7 % des emplois du secteur. La part du bio atteint 20 % pour les légumes secs, 13 % pour l'arboriculture et 8 % pour la vigne. 75 % des Français ont consommé au moins un produit bio en 2013. **L. C.**

Le bassin du Colorado ne fournit plus assez d'eau



Une vaste zone des États-Unis (cercle vert) pâtit de l'assèchement du bassin du Colorado.

NASA

HYDROLOGIE La baisse constante du volume des eaux souterraines du bassin du Colorado va poser un problème pour l'approvisionnement des sept États du sud-ouest des États-Unis, s'alarment des universitaires californiens. Les chercheurs ont utilisé les satellites de la mission Grace qui mesurent les changements de gravité terrestre pour suivre l'évolution du volume des eaux souterraines américaines de 2004 à 2013. Selon les mesures, cette baisse résulte de prélèvements excessifs et non contrôlés dans le sous-sol. **P. K.**

un toit pour les abeilles .fr

Parrainez une ruche

pour sauver les abeilles indispensables à la pollinisation des fleurs

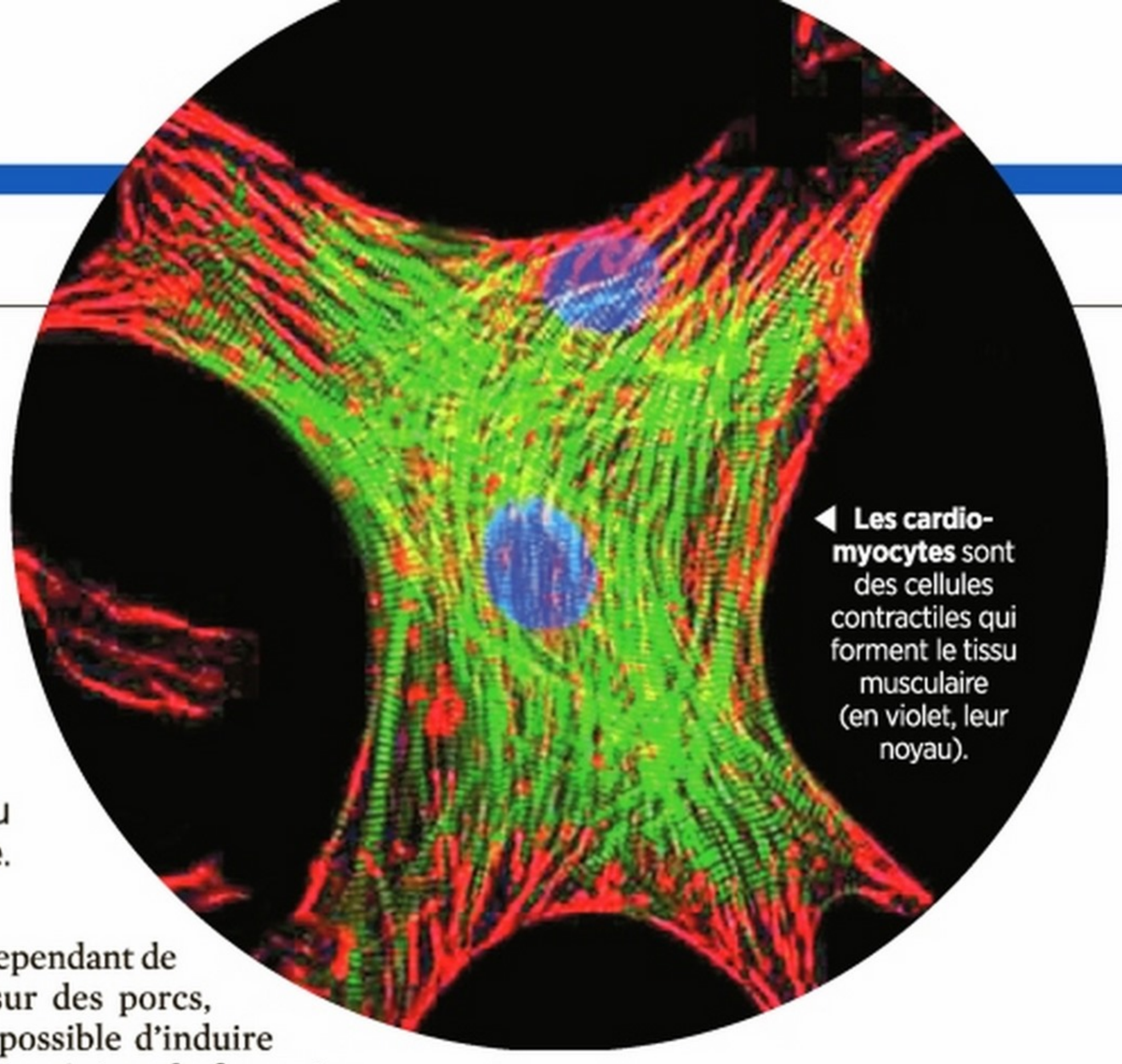
Suivez votre ruche sur

www.Untoitpourlesabeilles.fr

et recevez un miel à votre nom !

Cœur: regénérer les cellules pacemaker

La thérapie génique induit la formation d'un nouveau nœud sinusal directement à partir du tissu cardiaque.



◀ **Les cardio-myocytes** sont des cellules contractiles qui forment le tissu musculaire (en violet, leur noyau).

SPL/PHANI

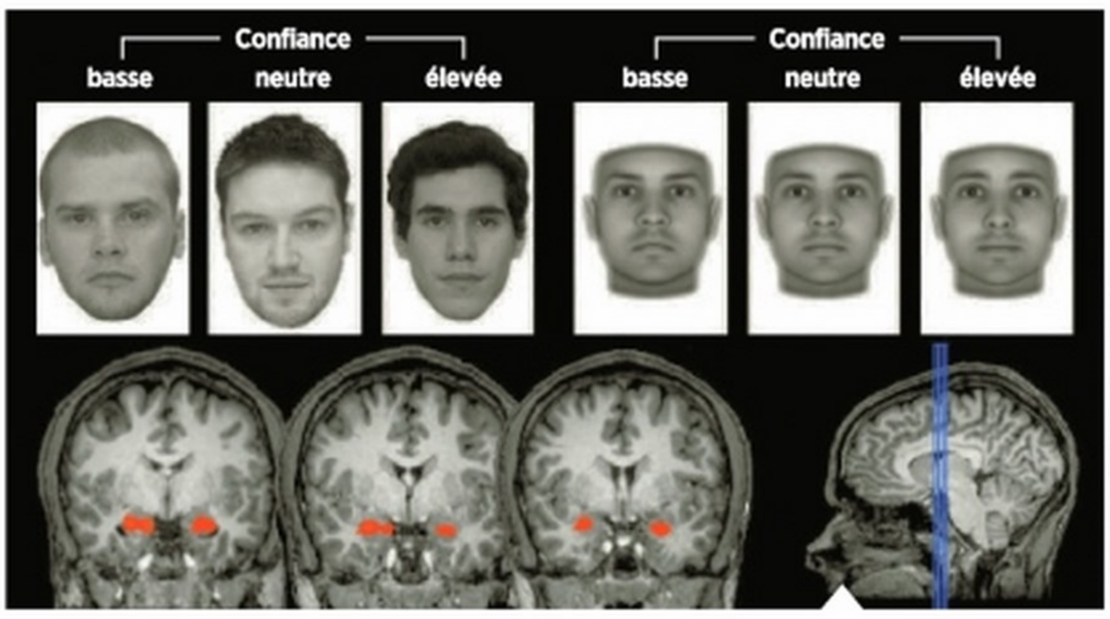
CARDIOLOGIE Les chercheurs tentent de mettre au point un pacemaker biologique transitoire qui puisse servir de relais quand une pile cardiaque doit être retirée en raison d'une d'infection. Mais il n'est pas facile de remplacer le nœud sinusal, ce petit groupe de cellules situé au sommet du cœur qui lui permet de battre environ 100 000 fois par jour. En cas de lésion du tissu cardiaque, cette fonction est perturbée et on remplace alors le nœud par un pacemaker électronique. Des chercheurs de l'Institut du cœur Cedars Sinai (Los Angeles, États-Unis) viennent cependant de montrer, sur des porcs, qu'il était possible d'induire par thérapie génique la formation d'un nouveau nœud sinusal directement à partir du tissu cardiaque. L'insertion d'un gène dans le cœur des animaux a permis de reprogrammer des cellules cardiaques en cellules allongées et pauvres en fibres contractiles du nœud sinusal. Ainsi traités, ils ont pu se passer de pile cardiaque pendant quinze jours et parfois même complètement. **P. K.**

Alzheimer résiste aux traitements

PHARMACOLOGIE Sévère camouflet pour la recherche anti-Alzheimer : sur les 244 médicaments expérimentaux développés au cours de la dernière décennie, entre 2002 et 2012, un seul, la ménantine, a été jugé suffisamment prometteur par le centre Lou Ruvo pour la santé mentale (Cleveland, États-Unis). Il s'agit du taux d'échec le plus élevé jamais enregistré par la recherche pharmaceutique, avec un implacable 99,6 % d'inefficacité. Aucune des médications actuellement à l'étude n'a été capable de stopper les dégâts cérébraux, les plaques amyloïdes notamment, occasionnées par la maladie. Une autre fournée d'environ quatre-vingts molécules est toujours en phase d'essai. Les chercheurs de Cleveland espèrent bien que cette prochaine moisson sera plus abondante. **H. R.**

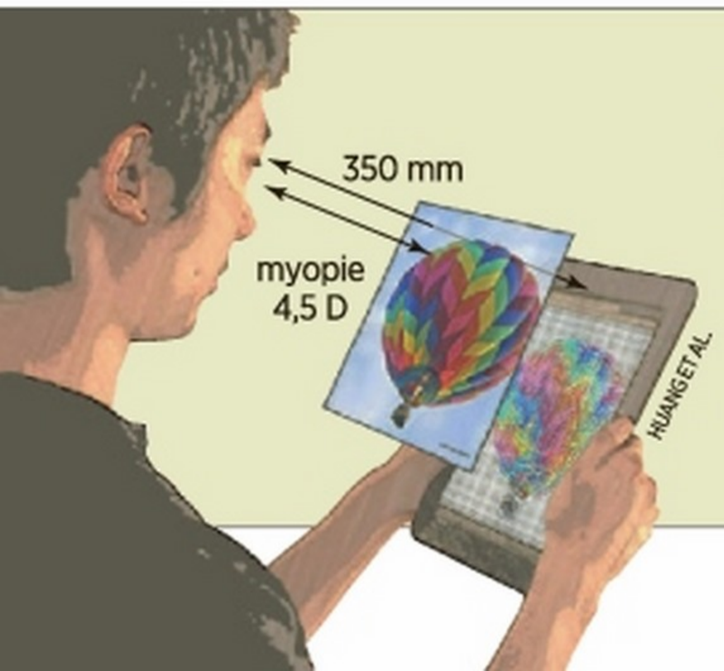
Une confiance aveugle

PSYCHOLOGIE Même quand nous n'analysons pas un visage, nous savons s'il est digne de confiance ou pas ! Après avoir calibré une série de visages d'inconnus auprès de volontaires en leur demandant d'évaluer le niveau de confiance qu'ils accorderaient à chacun d'entre eux, des chercheurs de l'université de New York (États-Unis) ont présenté la même série à un autre groupe de participants mais... trop rapidement pour qu'ils en aient conscience. Dans le même temps, les chercheurs enregistraient les réactions de leur amygdale, une structure cérébrale profonde impliquée notamment dans le traitement des jugements sociaux et des émotions. Surprise : ce sont les mêmes individus qui ont été jugés dignes ou indignes de confiance par les deux groupes de participants. **H. R**



COURTESY OF JOURNAL OF NEUROSCIENCE

La stimulation de l'amygdale du cerveau (zones rouges), impliquée dans les réactions de peur, varie selon le visage présenté au sujet.



Un écran correcteur de vue

OPHTALMOLOGIE Ce projet de chercheurs du MIT et de l'université de Berkeley (États-Unis) met en œuvre une plaque percée d'une multitude de trous de 75 micromètres de diamètre, espacés de 0,39 millimètres, et placée sur l'écran d'un appareil (en l'occurrence un iPad). Par ailleurs, on interprète les problèmes de vue d'un utilisateur (tels que figurant sur l'ordonnance de l'ophtalmologiste) à l'aide d'un algorithme : celui-ci calcule alors comment chaque pixel doit diffuser la lumière de manière à ce que chacun puisse être perçu nettement par l'observateur. Testée avec un appareil photo dont l'optique modifiée simule un trouble oculaire, la technologie ne sait traiter pour l'heure que des images fixes. **A. D.**

Un village chinois en quarantaine

ÉPIDÉMIOLOGIE Non, la peste n'est pas une maladie du Moyen Âge. Depuis fin juillet, 30 000 personnes sont consignées dans leur village du nord de la Chine avec interdiction d'en sortir. La raison ? Un homme décédé d'une forme très virulente de la peste bubonique. **H. R.**

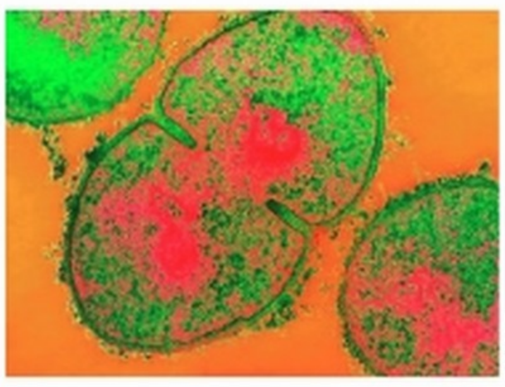
58%

La proportion d'ados américains qui manquent de souffle

OBÉSITÉ Pas très encourageant, ce taux a été obtenu par des chercheurs des CDC (Centres de contrôle et de prévention des maladies, Atlanta, États-Unis) après avoir fait courir 450 adolescents de 12 à 15 ans sur un tapis roulant pour évaluer leur capacité respiratoire. **H. R.**

Un antibiotique a favorisé l'essor du streptocoque B

MICROBIOLOGIE D'où vient le streptocoque B responsable d'infections néonatales mortelles ? Une équipe dirigée par Philippe Glaser, de l'Institut Pasteur, a découvert que le coupable était... un antibiotique, la tétracycline. L'étude révèle que les 230 souches de la bactérie prélevées depuis 1950 proviennent pour la plupart d'une seule souche très virulente, apparue dans les années 1950 suite à l'utilisation excessive de cet antibiotique. **P. K.**



PHANIE

HBO

L'accueil d'une série comme *Game of Thrones* pourrait être prédit avant même son lancement.

Le succès d'une série se lit dans le cerveau

L'activité cérébrale de quelques spectateurs tests permet d'anticiper l'intérêt du public.

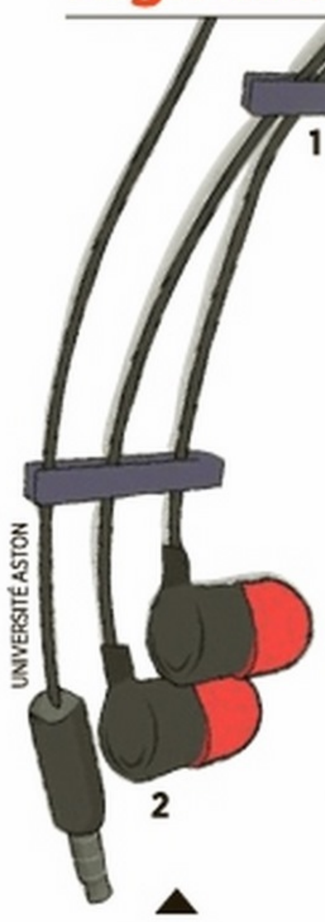
PSYCHOLOGIE On peut prévoir avant même sa diffusion le succès d'une série comme *Walking Dead* ou *Game of Thrones*. Des chercheurs américains en psychologie au City College de New York ont enregistré l'activité électrique instantanée du cerveau d'une poignée de spectateurs. Le degré de cohérence de ce signal entre une quinzaine de personnes s'est révélé un bon indicateur du succès auprès d'une large population de chaque passage d'une série télévisée, succès vérifié par sondage ou par le nombre de tweets envoyés. Ce pouvoir de prédiction était indépendant de la préférence de chaque spectateur pour la série. Si ces résultats, publiés dans la revue *Nature Communication*, sont reproduits, on aura trouvé un moyen simple et économique d'anticiper l'intérêt du public pour un film. Ce qui pourrait avoir de sérieuses conséquences dans l'art de faire passer des messages, qu'ils soient d'ordre commercial, politique, éducatif ou... scientifique. **P. K.**

Cellules souches: la fraude fait une victime

BIOLOGIE CELLULAIRE Le feuilleton des cellules STAP se poursuit tragiquement. Yoshiki Sakai (Institut Riken, Japon) le coauteur des articles sur ces cellules souches embryonnaires induites par le stress *(lire S. et A. n° 805 et 809, mars et juillet 2014)*, s'est pendu le 5 août, un mois après le retrait des papiers soupçonnés de « mauvaise conduite scientifique ». Il était le superviseur de Haruko Obokata, la chercheuse responsable de ces travaux. **H. R.**

AP/SIPA

Yoshiki Sakai en conférence de presse, le 16 avril.



UNIVERSITÉ ASTON

1. Les deux oreillettes du casque doivent être attachées ensemble.

2. Elles doivent ensuite être reliées au câble principal près du connecteur jack.

L'art d'éviter les nœuds

Un dispositif simple permet de réduire la tendance des câbles de casque audio à s'enrouler sur eux-mêmes.

TOPOLOGIE Excédé par ces casques de baladeurs MP3 dont les fils s'emberlificotent de manière quasi inextricable dans votre poche ? Des physiciens du département d'ingénierie et de science appliquée de l'université Aston (Birmingham, Royaume-Uni) pensent avoir trouvé la solution. Pour cela, ils ont fait appel à des lycéens chargés de tester différentes configurations (plus de 12 000 en tout...) afin de réduire les contraintes topologiques induites par les boucles et nœuds qui se forment spontanément quand un casque se retrouve livré à lui-même. La solution ? Bête comme choux mais encore fallait-il la trouver. Joindre les deux oreillettes ensemble puis former une boucle en reliant le double câble ainsi obtenu au câble principal le plus près possible du connecteur jack : c'est le moyen le plus efficace d'éviter les enroulements et les nœuds. **H. R.**

Droit à l'oubli ou censure ?

OLYCOM / ABACAPRESS.COM

Le procès de la « banda della Comasina », en 1977.

INTERNET Au nom du « droit à l'oubli » institué par la cour de justice de l'Union européenne, des résultats peuvent désormais disparaître des moteurs de recherche. Ainsi, en Angleterre, taper « Gerry Hutch » ne renverra pas d'emblée à la page Wikipedia mentionnant les exploits de cet ancien « braqueur irlandais ». De même pour la « banda della Comasina », un gang milanais des années 1970 déréférencée de Google Italie. Wikipedia crie à la censure, son fondateur Jimmy Wales parlant d'une *« loi complètement folle et qui doit être réparée. »*. **H. R.**

MIT

L'objet devient plus souple quand la température augmente.

Vers des robots métamorphes

MATÉRIAUX T-1000, le robot en métal liquide du film *Terminator 2*, c'est pour demain, ou presque, si l'on en juge par le nouveau matériau développé par des chercheurs du MIT (Cambridge, États-Unis) et l'institut Max Planck de Göttingen (Allemagne) : une mousse de plastique recouverte de cire qui oscille entre un état solide quand la cire est froide, et un état plus souple quand ce revêtement extérieur est légèrement chaud. Dans les prochaines versions, les chercheurs annoncent que la cire sera remplacée par un matériau plus résistant. **H. R.**

Du stade au HLM

URBANISME Après avoir dépensé 4 milliards de dollars pour construire ou rénover la douzaine de stades nécessaires à la tenue de la coupe du monde cette année, le Brésil se demande maintenant que faire de ces énormes bâtiments. Deux architectes français, Axel de Stampa et Sylvain Macaux, proposent de les reconvertir en logements sociaux. La moitié des stades ayant une structure externe de béton et de métal, on peut imaginer insérer des maisons préfabriquées à l'intérieur de ces « étagères » géantes. Au total, chaque stade pourrait accueillir de 1500 à 2000 personnes, soit environ 20 000 habitants pour les 12 stades. Des aménagements qui n'empêcheraient pas *a priori* ces enceintes de remplir leur office et d'accueillir des matches. Les futurs locataires ont intérêt à ne pas avoir le sommeil léger... **H. R.**

A. DE STAMPA, S. MECAUX, PHOTOGRAPHY BY T. FAQUINI

Des logements pourraient s'insérer dans la structure du Stade national de Brasilia (vue d'artiste).

RITOT

Et la main devint l'écran...

HORLOGERIE Ritot est un projet de montre connectée munie d'un picoprojecteur. Le bracelet projette directement sur la main l'heure mais aussi diverses alertes issues d'un smartphone (e-mails, signal d'appel, messages Facebook, rendez-vous, etc.). La projection se déclenche d'une pression sur un bouton ou en secouant la main. En quête de 50 000 dollars (37 500 €) de financement sur Indiegogo, Ritot en a récolté plus de 1 million ! **A. D.**

QUESTIONS À

SOLUCOM

Gérôme Billois, expert du Cercle européen de la sécurité informatique et consultant sécurité chez Solucom

« Contre le piratage, le coffre-fort numérique »

Début août, la société de sécurité informatique Hold Security annonçait que des hackers russes avaient volé 4,5 milliards de combinaisons e-mail/mot de passe d'internautes (1,2 milliard sans les doublons) sur 420 000 sites Web.

Des telles alertes ne sont pas rares, celle-ci est-elle d'un genre nouveau ?
Si elle est confirmée, la méthode de hacking est assez nouvelle. D'habitude, les pirates espionnent depuis un point du réseau et scannent tous les jours des sites Web pour détecter une faille. Là, ils sont entrés sur les ordinateurs des internautes pour ensuite pénétrer sur les sites au moment où les gens s'y rendaient.

En 2014, n'a-t-on pas de meilleurs moyens pour protéger un accès à un site Web que le couple login-mot de passe ?
Si, mais ils ne sont pas aisés à faire adopter par les internautes. Le coffre-fort de mots de passe, par exemple. C'est un fichier chiffré qui contient tous les mots de passe d'une personne. On y accède par un mot de passe maître, le seul que l'on doive retenir. Mais cela demande de la rigueur. L'authentification à deux facteurs nécessite un mot de passe plus autre chose : SMS, mot créé aléatoirement, biométrie. Mais, selon les cas, cela demande d'avoir son téléphone sur soi ou du matériel spécial.

La reconnaissance faciale est-elle une piste valable ?
Il est assez facile de contourner une identification par le visage ou la voix. Mieux vaut s'en remettre à un fédérateur des identités numériques : un organisme tiers de confiance chez qui on s'authentifie pour accéder ensuite à tous ses comptes.

Propos recueillis par A.D.

DANS LA COLLECTION
L'ODYSSÉE DES SCIENCES

LA VALSE DES CONTINENTS

Volume 2

AFRIQUE - AMÉRIQUES

EN COFFRET 2 DVD ET VOD
LE 2 SEPTEMBRE

Les continents naissent, grandissent et disparaissent.
Pour comprendre cette étonnante évolution,
ARTE Éditions vous offre un spectaculaire voyage
géologique dans le temps… Une éblouissante
immersion aux origines de notre planète !

Les images sont superbes
et les commentaires…
très pédagogiques - LE MONDE

Toujours clair, abondamment illustré…
TÉLÉRAMA

À la portée de tous… PHOSPHORE

Diffusion de la série sur ARTE à 19h
du 1er au 5 septembre

Toujours disponible

En vente partout et sur www.arteboutique.com

SCIENCES ET AVENIR
arte EDITIONS

leshuilesvegetales.fr

Quelle huile pour quelle cuisine ?

Les huiles végétales font partie de notre quotidien !
Elles sont présentes dans toutes les cuisines, embellissent nos plats et exaltent nos papilles.
Mais qui connaît avec précision leurs qualités et leurs singularités ?
Voici un petit mémo sur leur diversité, leur palette de saveurs et d'usages.

L'huile de Colza

Utilisation à chaud ou à froid.

L'huile d'Olive

Tolérance aux hautes températures.

L'huile de Tournesol

Utilisation à chaud ou à froid.

Les huiles combinées

Se référer à l'étiquette du fabricant pour les différentes utilisations.

Les margarines

Utilisation à chaud ou à froid.

L'huile de Noix

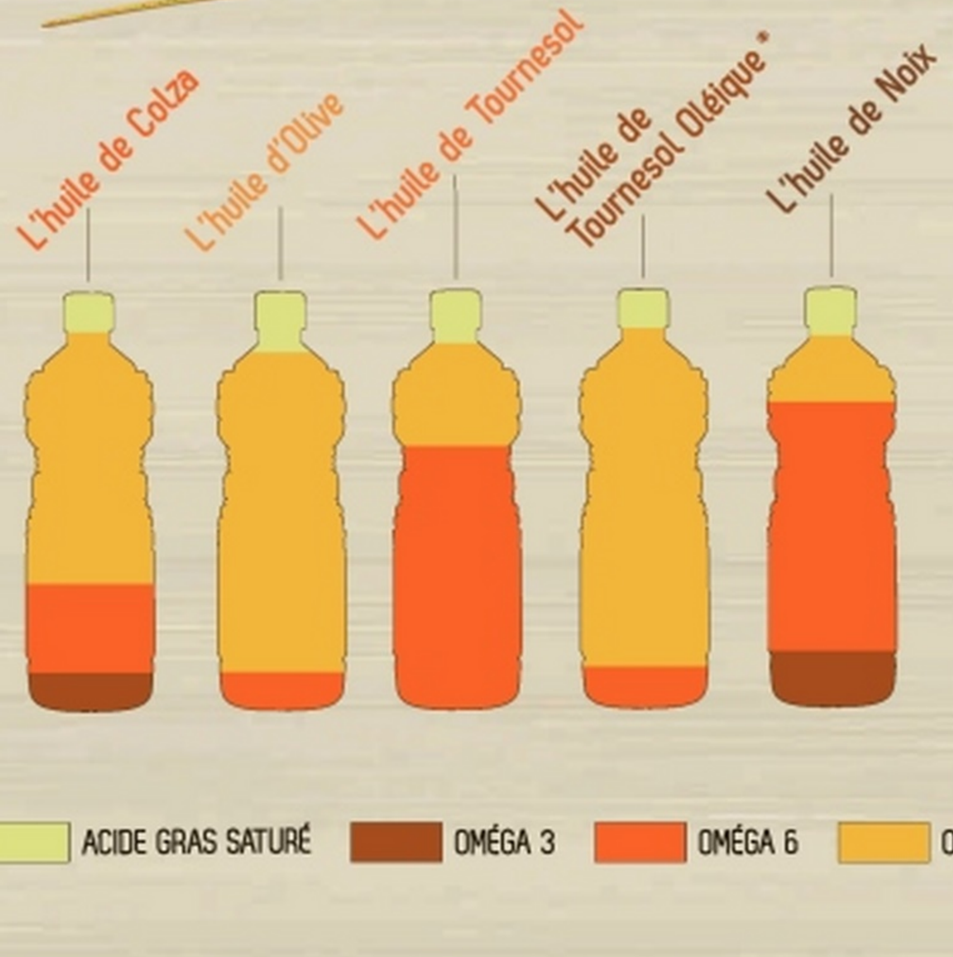
Utilisation à froid ou en pâtisserie.

L'huile de Tournesol Oléique

Tolérance aux hautes températures.

CUISSON
FRITURE
TARTINES
PÂTISSERIE
ASSAISONNEMENT

Les apports nutritionnels



LES ACIDES GRAS ESSENTIELS

Certains **oméga 3 et 6** sont dits «essentiels» car notre corps ne peut pas les fabriquer alors qu'ils assurent des fonctions vitales, indispensables au bon fonctionnement de notre organisme. Les huiles végétales en sont les principales sources alimentaires.

LES OMÉGA 9

La présence importante d'**oméga 9** dans une huile augmente sa résistance aux hautes températures.

*issue d'une variété particulière de tournesol

Ces aliments qui nous protègent

Les études permettant de mieux cerner les bienfaits de certains aliments se sont multipliées depuis trente ans. Pourtant, le consommateur reste soumis à une véritable cacophonie. « Sciences et Avenir » fait le point.

Dossier réalisé par
Marie-Noëlle Delaby
et Sylvie Riou-Milliot

« Que ton aliment soit ta première médecine », conseillait Hippocrate 400 ans avant J.-C. Le médecin grec ne pouvait se douter que, deux millénaires plus tard, l'obsession du bien manger aurait gagné nos sociétés d'abondance, confrontées à une hausse des cancers, des maladies cardio-vasculaires, de l'obésité. Autant d'affections qu'il s'agirait de contrer grâce à des assiettes « santé ». Depuis trente ans, de multiples études (Suvimax, EPIC...) tentent de mettre au point la meilleure combinaison permettant de prévenir ces maladies. Si le niveau de preuve des recommandations en nutrition reste difficile à établir, ces travaux commencent à mieux cerner les bienfaits de certains aliments.

Le consommateur, de son côté, soumis à une véritable cacophonie savamment entretenue par les industriels de l'agroalimentaire, est souvent désemparé. Pour qu'il puisse s'y retrouver, l'apposition sur l'emballage d'un code couleur (vert, orange, rouge) basé sur le calcul d'un score nutritionnel global est à l'étude en France. L'objectif de cette mesure, déjà en place en Grande-Bretagne, est d'aider le consommateur à comparer la qualité nutritionnelle des aliments. Mais avant même sa mise en œuvre, des critiques s'élèvent *(lire l'interview p. 37)*. *Sciences et Avenir* fait le point en s'appuyant sur les études les plus récentes. **S. R.-M.**

Photos : Rémy Cortin pour S. et A.

L'assiette santé

À chaque famille d'aliments, ses vertus et ses bienfaits. Revue des ingrédients à privilégier pour une alimentation saine, protectrice et équilibrée.

Légumes
Choux, brocolis, ail, oignons... Les meilleurs alliés contre le cancer sont des mines d'antioxydants, de vitamines et de fibres *(lire p. 30)*

Fruits
Une source majeure d'antixoxydants — surtout de polyphénols —, d'eau, de vitamines et de fibres *(lire p. 31)*.

Fruits secs
Ils complètent parfaitement les apports en omégas 3, sucres et fibres. Très caloriques, ils sont à consommer en petites quantités *(lire p. 33)*.

Céréales et légumineuses
Lentilles, pois chiches..., leurs apports en fibres insolubles favorisent l'activité de la flore intestinale *(lire p. 33)*.

RÉGIME CRÉTOIS

Prévention cardio-vasculaire

Il associe modération et variété alimentaire. Son intérêt est démontré dans la prévention des maladies cardio-vasculaires et de l'hypertension artérielle (1). Il privilégie les légumes, l'ail, les céréales, les fruits, frais et secs, et les laitages (brebis, chèvre). Le poisson est préféré à la viande. Sans oublier l'huile d'olive. En 2013, une étude (2) a confirmé ses bienfaits, avec une réduction de 30 % des problèmes cardio-vasculaires chez des diabétiques, des hypertendus et des fumeurs.

(1) Seven Countries Study.
(2) PREDIMED Nejm 2013.

Miel
Un fortifiant naturel au fort pouvoir sucrant dont les vertus antiseptiques font l'objet de recherches *(lire p. 34)*.

Thé, café
Énergisantes et toniques, ces boissons sont à l'étude pour leurs effets sur les maladies neurodégénératives *(lire p. 34)*.

Épices
Associées à l'ail ou aux oignons, elles permettent de moins saler les préparations *(lire p. 35)*.

Poissons
Gras (saumon, sardine...) ou maigres (merlan, colin), leurs qualités nutritionnelles (protéines, vitamines, oméga 3) sont précieuses (*lire p. 32*).

RÉGIME D'OKINAWA

Frugalité et longévité

À Okinawa, archipel japonais célèbre pour la longévité de ses habitants (1), les assiettes font traditionnellement la part belle aux poissons maigres (lieu, limande) et coquillages consommés crus (au moins trois fois par semaine), aux légumes (plus de 1 kg par jour), aux céréales complètes (riz), au soja, aux épices, herbes locales et algues, le tout arrosé de thé. Peu d'apports en viandes (seul le porc est consommé), en sucres, pas de produits laitiers. Sans oublier une règle absolue : « *hara hachi bu* », manger un peu moins qu'à sa faim pour ne jamais sortir de table rassasié.

*Okinawa Centenarian Study.

ANTIOXYDANTS Substances produites par les plantes pour se protéger des dommages dus à l'oxygène au cours de la photosynthèse. On trouve parmi elles des vitamines (C, E), des oligoéléments (sélénium), les polyphénols, les flavonoïdes, les caroténoïdes, les tanins...

FIBRES Présents dans les végétaux (fruits, céréales, légumes), ces glucides non digestibles se gonflent d'eau, facilitant ainsi le transit intestinal en favorisant les contractions de l'intestin. Ils aident à la satiété en ralentissant la digestion.

VITAMINES Substances organiques apportées à doses infinitésimales par l'alimentation. Sans valeur calorique, elles sont essentielles à l'organisme car en leur absence, les nutriments (glucides, lipides, protéines) seraient inutilisables.

Fruits et légumes : les meilleurs alliés anticancer

De très nombreuses études confirment les bienfaits potentiels de ces aliments riches en fibres et en minéraux contre des maladies graves comme les cancers mais aussi les affections cardio-vasculaires.

SIMPLE, EFFICACE, le slogan *« Mangez 5 fruits et légumes par jour »* est connu de tous... mais moins d'un Français sur deux atteint ce repère de consommation minimum. Soit 400 grammes par jour. Les fruits et légumes méritent pourtant une place privilégiée car ils procurent une grande partie de l'eau, des minéraux, des vitamines et des fibres indispensables à notre organisme. Plusieurs centaines d'études de population, notamment regroupées dans de grandes méta-analyses comme EPIC, INCA2 ou MOOSE, ont évalué leurs bienfaits potentiels dans la lutte contre le cancer. Dans plus de 80 % des travaux pris en compte, un effet protecteur a été trouvé, en particulier pour les cancers des voies supérieures (bouche, œsophage), de l'estomac, du poumon, du côlon et du rectum. De ces recherches, émerge une famille de molécules désormais bien connue, les antioxydants *(lire lexique)*, qui renferme des milliers de substances encore à l'étude. Quant au risque cardio-vasculaire, les deux régimes, crétois et japonais (Okinawa) — *lire pp. 28-29* —, associés à une fréquence plus faible de ces maladies reposent sur des apports plus élevés en polyphénols.

Légumes : de bons antioxydants

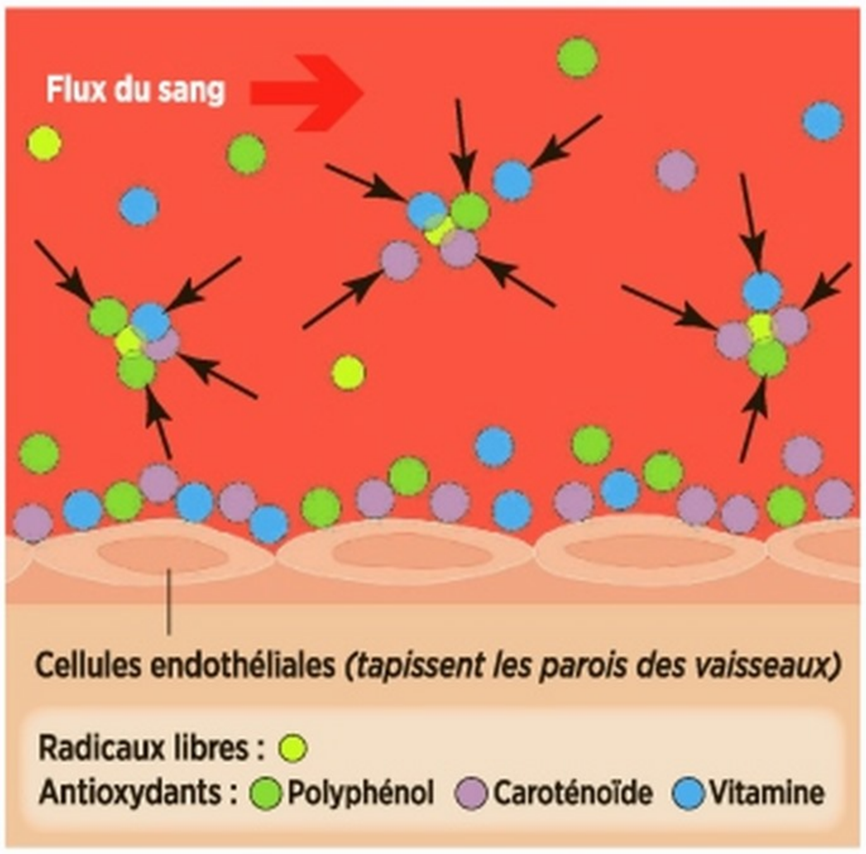
Parmi les légumes, certains semblent particulièrement riches en substances protectrices vis-à-vis du cancer : ce sont les brassicacées (ou crucifères) et les alliacées. Les premières forment une vaste famille dans laquelle figurent choux, brocolis, navets, radis ou cresson. La plupart des études montrent des bénéfices à en consommer au moins une portion hebdomadaire, soit 80 g. En effet, tous possèdent des glucosinolates, les précurseurs de molécules à haute valeur antioxydante : les anthocyanates. Des tests réalisés *in vitro* ont mis en évidence la double capacité des anthocyanates à inhiber des enzymes dites de phase 2 qui transforment des composés de l'alimentation en substances cancérogènes, et à stimuler des enzymes de phase 1 chargées de neutraliser ces substances. Mais pour profiter de leurs vertus, gare à ne pas les avaler tout rond ou trop cuits ! En effet, les glucosinolates des brassicacées se transforment en anthocyanates uniquement grâce à l'intervention d'enzymes de la plante : les myrosinases. Et c'est en mâchant les légumes que ces deux éléments entrent en contact. Par ailleurs, la cuisson ou la congélation détruisent les myrosinases. D'où l'intérêt de consommer ces légumes peu cuits, voire crus.

Quant aux alliacées — comme l'ail et l'oignon —, elles ont en commun l'allicine, un antioxydant dont l'ingestion (80 g par semaine) est associée à un moindre risque de cancers colorectaux. Ce composé organosulfuré à l'odeur piquante caractéristique fait partie des mécanismes de défense de ces plantes contre les insectes. Pour être activée, l'allicine doit être au contact de l'enzyme alliinase. Mais toutes deux sont sensibles à la chaleur. Il vaut donc mieux manger les alliacées crues et broyées.

D'autres légumes sont connus pour leur richesse en caroténoïdes, vaste famille de pigments végétaux comprenant les provitamines A et les lycopènes. Carottes, tomates et épinards en sont nos principales sources. Le lycopène, qui colore en rouge les tomates, est le caroténoïde le plus consommé, 100 g de tomates en fournissant 3 mg. De nombreuses études lient sa consommation (18 mg/j) à la réduction du risque de cancer de la prostate. La cuisson améliore considérablement son absorption, de même que son ingestion avec des matières grasses. Mais la question demeure de savoir si ces effets sont dus ou non au seul lycopène.

Carottes et épinards cuits fournissent également du bêta-carotène, une provitamine A dont les dérivés (rétinal et acide rétinoïque) jouent un rôle essentiel dans la vision et la composition de certains tissus (poumon, intestin, peau). Ces deux légumes en fournissent respectivement 8 et 6 mg aux 100 g, ce qui suffit à couvrir les besoins quotidiens. Car mieux vaut en effet éviter les compléments alimentaires ! Les études ATBC et CARET ont en effet montré sur le long terme un risque jusqu'à cinq fois plus élevé de cancer chez les fumeurs recevant 20 mg de bêta-carotène en gélules chaque jour !

Les antioxydants en action



BETTY LAFON

Selon la théorie dite du stress oxydatif, de nombreux facteurs (alimentation déséquilibrée, tabac, pollution...) produisent des radicaux libres, dont l'accumulation dans l'organisme favorise l'apparition de maladies chroniques. Apportés dans le sang par les aliments, les antioxydants se fixent aux radicaux libres, ce qui les bloque et les inhibe.

Fruits : le plein de polyphénols

Les fruits sont de grands pourvoyeurs de polyphénols, un sous-groupe de la vaste famille des antioxydants. Ces molécules préservent les cellules des attaques des radicaux libres, jouant ainsi un rôle bénéfique vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires et des cancers. Selon une étude du Centre de recherche agronomique pour le développement (Cirad), les baies rouges et noires en sont dotées à hauteur de 20 et 200 mg pour 100 g. Mais c'est la pomme qui en demeure la première source dans notre alimentation, avec 180 mg/100 g. Mieux vaut la consommer avec la peau, qui concentre ces molécules. À condition de la choisir « bio » ou de bien la laver à l'eau claire afin de limiter les résidus de pesticides. La grenade, quant à elle, est très à la mode.

AURÉLIE LAMACHERE/BALTEL/SIPA

Riche en tanins, acide ellagique et flavonoïdes, elle contient jusqu'à 1,5 g de polyphénols aux 100 g. Son jus est le plus riche en antioxydants, mais attention aux boissons dérivées qui n'en contiennent souvent que de faibles quantités.

Une étude américaine, publiée en 2014 dans *Jama*, a cependant remis en question l'action protectrice d'un des polyphénols les plus médiatisés, le resvératrol, présent dans le vin, les mûres ou les cassis. En mesurant les niveaux de dérivés de resvératrol dans l'urine de personnes, les chercheurs ont montré que l'écart d'espérance de vie entre petits et gros consommateurs n'était pas significative. Ces résultats sont cependant à moduler : les chercheurs ne pointent pas l'inefficacité des polyphénols dans leur ensemble, mais la difficulté d'isoler une molécule — à l'instar du resvératrol — comme responsable des effets démontrés. Bien des composants spécifiques et des interactions restent à mettre en évidence pour comprendre les effets protecteurs des fruits et légumes. Ce qui explique que les recommandations ne ciblent pas tel fruit ou légume particuliers, mais prônent la consommation d'au moins 400 g de fruits et légumes variés. ■ **M.-N. D.**

« On ne peut pas parler d'un régime alimentaire protecteur universel »

Pr David Khayat, cancérologue et chef de service à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Paris)

« Les fruits et légumes font partie des aliments intéressants pour notre santé. Mais l'effet protecteur ou le risque cancérogène d'un repas n'est pas la somme arithmétique des effets individuels de chaque aliment qui le compose. Il existe plus de 25 000 composés bioactifs dans les aliments, dont beaucoup ont déjà été identifiés comme des modulateurs possibles des processus de cancérisation. Sans compter leur "effet cocktail", c'est-à-dire l'influence qu'ils exercent potentiellement les uns sur les autres. Sans compter non plus l'influence de notre mode de vie et de notre profil génétique individuel. Impossible dès lors de parler d'un régime alimentaire protecteur universel. Il semble toutefois important de faire place à la variété, tout en respectant nos traditions culinaires qui, au fil des siècles, ont su indiquer à nos aïeux ce qu'ils devaient donner à manger à leurs enfants. »

Propos recueillis par M.-N. D.

OMÉGAS 3 Acides gras appartenant à la famille des lipides dits polyinsaturés en raison de leur structure chimique. Surtout apportés par les poissons gras, ils sont essentiels car l'organisme humain ne peut les produire.

RADICAUX LIBRES Produites par l'oxygène, ces molécules se caractérisent par un électron supplémentaire. Les électrons vivant en couple, elles attaquent les molécules de l'organisme pour se procurer un partenaire.

MICROBIOTE Il est constitué de près de 100 000 milliards de bactéries présentes dans le tube digestif. Celles-ci jouent un rôle majeur dans la protection de l'organisme ou l'apparition de maladies (obésité, diabète).

Céréales, poissons et fruits secs : des atouts pour le cœur et le cerveau

Sources essentielles d'omégas 3 ou de fibres solubles, ces aliments favorisent la fluidité du sang et le développement cérébral tout en régulant l'appétit.

Poissons gras : les rois des omégas 3

« Mange du poisson, c'est riche en omégas 3 ! » Qui, enfant ou adulte, n'a pas entendu cette phrase à chaque poisson servi à table ? L'affirmation est vraie... en partie.

Le poisson renferme en effet deux formes actives d'omégas 3 (03), ces acides gras dits polyinsaturés fournis par les habitants des mers et des rivières : l'eicosapentaénoïque (EPA) et le docosahexaénoïque (DHA), qui ont un précurseur, l'acide alpha-linolénique (ALA), présent aussi dans certains végétaux comme le lin. Ces fameux acides gras sont dits essentiels, car indispensables à notre organisme, qui ne peut les fabriquer lui-même et doit les trouver dans l'alimentation.

Les omégas 3 ont connu un vif succès à partir des années 1990 : des études parues dans la revue médicale britannique *The Lancet* dès 1976 montraient que les pays grands consommateurs de poisson (Japon, Groenland) ont des taux de mortalité cardio-vasculaire et de dépressions graves plus bas que leurs voisins.

Les omégas 3 jouent en effet un rôle essentiel dans le développement et le fonctionnement du cerveau en participant à la structure des terminaisons nerveuses et des membranes des neurones. Ils contribuent aussi à sa bonne irrigation sanguine, EPA et DHA améliorant la fluidité du sang et l'élasticité des vaisseaux. Ils limitent ainsi l'agrégation des plaquettes, ces cellules sanguines qui peuvent fusionner et entraîner la formation de caillots, et l'athérosclérose — c'est-à-dire le rétrécissement des artères par dépôt de cholestérol. Ces deux phénomènes sont impliqués dans l'infarctus et l'accident vasculaire cérébral (AVC). Voilà pourquoi, en France, le Plan national nutrition santé (PNNS) recommande de consommer 2,2 g d'ALA par jour et 500 mg d'EPA et de DHA. Les poissons gras peuvent contribuer substantiellement à cet apport : 100 g de saumon frais, 120 g de saumon en conserve ou 200 g de sardines en boîte fournissent 2 g d'omégas 3. De quoi alterner leur consommation avec celle de poissons blancs (merlan, colin), moins dotés en omégas 3 mais riches en protéines, vitamines B, sélénium et iode, indispensables au bon fonctionnement de l'activité cérébrale à raison d'une moyenne de deux portions hebdomadaires.

Mais attention ! toutes les préparations ne se valent pas. Les poissons en friture, salés ou séchés perdent leur effet protecteur. Les graisses saturées, le sel et les composés volatils issus de la fumée comme le benzopyrène, cancérogène notoire, viennent en effet contrecarrer les bénéfices des omégas 3. Gare également aux espèces carnivores d'eau douce (anguille, carpe) et salée (lotte, loup, empereur, raie, thon*). Situées en bout de chaîne alimentaire, elles accumulent des contaminants chimiques, et notamment du méthylmercure, toxique pour le développement du système nerveux central et donc déconseillé aux femmes en âge de procréer et aux enfants de moins de 3 ans.

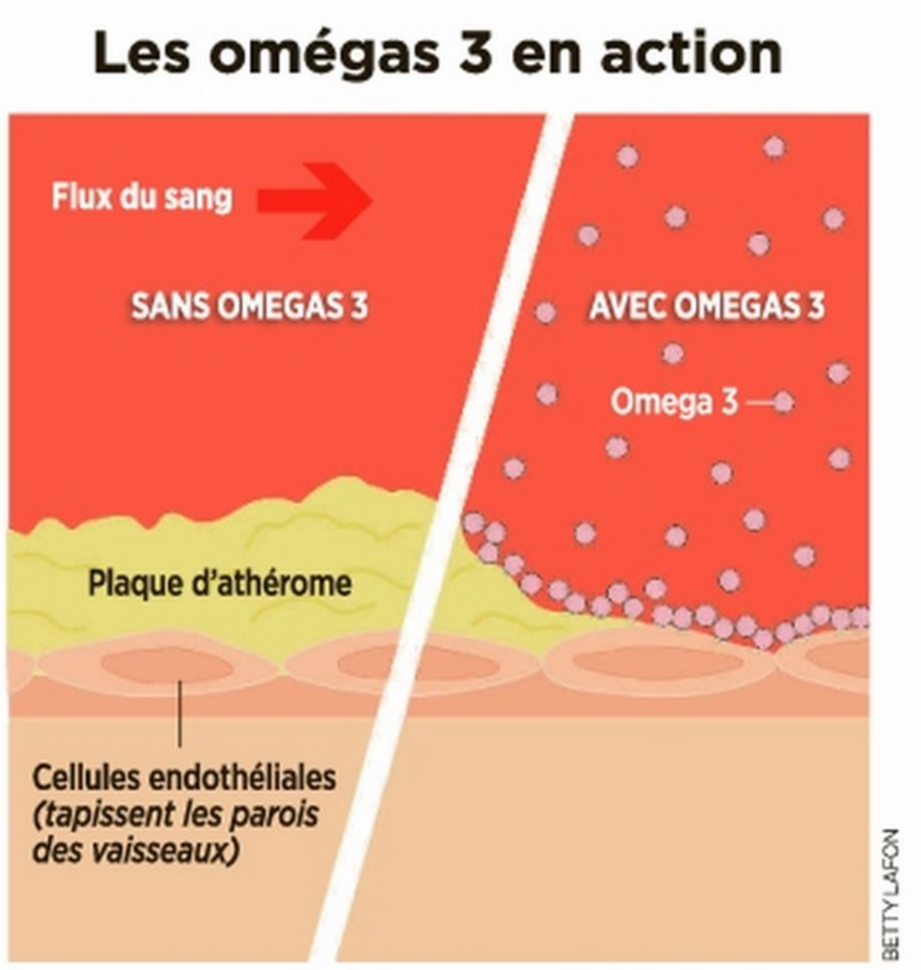
Quant aux compléments alimentaires et autres ersatz sous forme de gélules ou pilules estampillées « riches en omégas 3 », de nombreuses synthèses d'études réalisées ces dix dernières années remettent en question leur intérêt.

* La liste complète est disponible sur le site de l'Anses www.anses.fr

Céréales : le plein de fibres et d'énergie

Les Français ne vibrent pas pour les fibres. Seuls un homme sur cinq et une femme sur dix atteignent la consommation minimum recommandée par le PNNS de 25 g par jour. Pourtant, elles modèrent l'appétit et abaissent le taux de LDL, dit mauvais cholestérol, en particulier les céréales et les légumineuses. Ces dernières (lentilles, pois chiches) sont en effet bien pourvues en fibres solubles, non assimilables par l'organisme. Au contact de l'eau des intestins, elles forment un gel qui régule l'absorption des nutriments et abaisse le taux de cholestérol, dont le seul mécanisme d'élimination est la voie fécale, en facilitant le transit. Céréales et légumineuses, en particulier les céréales complètes, sont aussi de bonnes sources de fibres insolubles qui favorisent l'activité de la flore intestinale et donc l'absorption des nutriments. Ainsi, 15 g de fibres alimentaires insolubles par jour augmentent de 10 % l'assimilation des nutriments.

Les céréales sont aussi notre principale source de glucides énergétiques grâce à l'amidon qu'elles contiennent. Dans les céréales complètes (riz brun, son de blé, pain et pâtes complets), l'amidon est enchâssé dans une enveloppe fibreuse ralentissant le travail des enzymes digestives qui le transforment en glucides. Elles font donc monter plus lentement la glycémie et rassasient plus durablement que les céréales raffinées comme le pain blanc, le riz blanc ou les pâtes au blé tendre.



Les omégas 3 joueraient un rôle préventif dans la formation des plaques d'athérome développées dans les parois des artères et responsables d'infarctus.
Ils agiraient au niveau du métabolisme du cholestérol et permettraient aussi une meilleure fluidité du sang grâce à leurs propriétés antiagrégeantes.

Fruits secs : des petits apports qui rendent plus fort

Les fruits secs doivent être consommés en petites quantités en raison de leur forte densité calorique. 15 g de noix ou d'amandes apportent respectivement 93 et 107 kilocalories (kcal), et un pruneau contient quatre fois plus de sucre qu'une prune fraîche. Ils sont cependant idéaux pour compléter les apports en omégas 3, fibres et glucides.

En effet, six belles noix (soit 30 g) — ou deux cuillers à soupe d'huile de noix — couvrent les besoins quotidiens en acide alpha-linolénique (ALA). Si les noix sont fraîches, elles ont en outre l'avantage de fournir une grande quantité de vitamine E et B ainsi que des fibres. Les fruits secs sont aussi d'excellentes sources de fibres solubles : 100 g de pruneaux ou d'amandes en fournissent respectivement 15 et 24 g. Concernant les huiles, celles de noix et de lin sont les plus riches en omégas 3. Attention cependant à les conserver au frais et à l'abri de la lumière : rancies, elles contiennent des peroxydes lipidiques qui se dégradent en composés toxiques potentiellement cancérogènes à la cuisson. Enfin, les sportifs goûtent leur richesse en potassium, fer, et cuivre : celle-ci aide à combattre le déficit en minéraux que provoque la fatigue musculaire et qui rend la récupération plus difficile. ■ **M.-N. D.**

COURTESY L. BUREAU

« Penser à la balance entre omégas 3 et omégas 6 »

Loïc Bureau Professeur de nutraceutique à l'université de Rennes

« Au moment de l'assimilation par l'organisme, les acides gras polyinsaturés omégas 3 entrent en compétition avec les omégas 6, apportés surtout par l'huile de tournesol dans les aliments industriels. Ces deux familles sont indispensables au fonctionnement des cellules, mais toutes deux font appel aux mêmes enzymes pour être métabolisées. Un excès d'omégas 6 nuit donc à l'assimilation des omégas 3. Le rapport idéal omégas 3/omégas 6 devrait être compris entre 3 et 5, mais en pratique, il se situe davantage autour de 12 à 14. Pour l'équilibrer, il est donc recommandé d'augmenter sa consommation de poissons gras ou de noix, et de réduire les apports en charcuterie ou viandes grasses (bœuf, porc, mouton) au profit des viandes blanches (lapin, poulet, dinde). Et préférer les huiles riches en omégas 3 (lin, noix, colza, olive) à celles riches en omégas 6 (tournesol, arachide). » **Propos recueillis par M.-N. D.**

CAFÉINE C'est un alcaloïde d'origine végétale de la famille des méthylxanthines qui comprend également la théophylline et la théobromine. Cette molécule stimule le système nerveux central.

THÉINE La théine n'existe pas à proprement parler : il s'agit de la même molécule que la caféine. Mais les feuilles de thé en sont moins richement dotées que les grains de café.

PROBIOTIQUES Microbes vivants naturellement présents dans certains aliments (choux, laits fermentés...) ou rajoutés par les industriels de l'alimentaire dans des préparations laitières (Actimel, Bion).

Thé, café, épices, miel : ils renforcent les défenses immunitaires

Les aliments plaisir protègent contre les maladies neuro-dégénératives, défendent l'organisme contre les agressions grâce à leurs propriétés antioxydantes ou antiseptiques, constituant ainsi de précieux atouts santé.

Thé et café : des excitants peut-être protecteurs

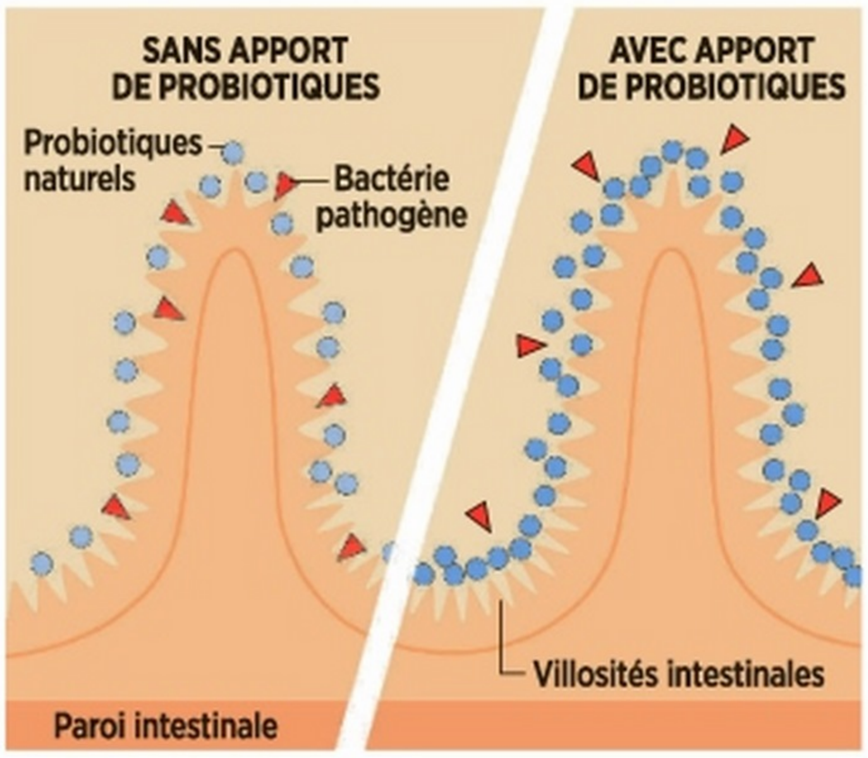
Issu des graines d'un arbuste originaire d'Éthiopie, le café est la boisson « excitante » la plus répandue au monde. Chaque Français en consomme en moyenne 9 kg par an. Sa principale substance active est la caféine *(voir le lexique)*. Une tasse de café filtre en contient environ 115 mg. Mais elle est également présente dans le cacao (45 mg pour 30 g de chocolat noir), les sodas au cola (43 mg dans une canette), le maté (70 mg dans une tasse)... et le thé, où elle est parfois appelée théine (45 mg dans une tasse)*. L'apport maximum quotidien recommandé est de 300 mg pour une femme et 400 mg pour un homme.

Depuis quelques années, le « petit noir » suscite l'intérêt des scientifiques dans leurs recherches sur les maladies neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson) et les cancers. Des études statistiques ont ainsi montré que le risque de contracter la maladie d'Alzheimer était moindre pour les consommateurs de trois à cinq tasses de café quotidiennes (soit plus que les apports recommandés), sans que l'on sache encore en expliquer les raisons. Des travaux en laboratoire sont en cours *(lire l'interview ci-contre)*. Chez les patients atteints de la maladie de Parkinson, la caféine potentialise les effets de la L-dopa, un acide aminé précurseur de la dopamine utilisée dans les traitements sans toutefois améliorer les symptômes. Enfin, des études épidémiologiques suggèrent un effet protecteur du café contre certains cancers (côlon, rectum, foie, peau, sein, prostate). Dans le thé, infusion de la feuille du théier (*Camellia sinensis*), l'effet protecteur d'un polyphénol — l'épigallocatéchine gallate — a été démontré à l'encontre du cancer... mais uniquement sur des modèles animaux et cellulaires et à des doses bien supérieures à la consommation humaine ! Notons toutefois que le thé vert est inscrit depuis 1996 dans la pharmacopée française, recueil officiel des médicaments. Sa consommation est indiquée pour lutter contre la fatigue et en tant qu' adjuvant des régimes amaigrissants du fait de son action diurétique. Mieux vaut cependant éviter d'en consommer au cours du repas, car les flavonoïdes dont il est richement doté entravent l'absorption du fer alimentaire. Attention aussi à ne pas le boire trop chaud : toute boisson brûlante augmente le risque de cancers de la cavité orale, du larynx, du pharynx et de l'œsophage. Une précaution qui vaut également pour le café.

* Nehlig a, 2012. Effets physiologiques du café et santé humaine. Cah agric 21: 197-207.

Le miel : un antiseptique naturel

Plus de 100 plantes à fleurs sont butinées dans le monde par les abeilles pour produire du miel. Traditionnellement utilisé comme



BETTY LAFON

PROBIOTIQUES

Des microbes protecteurs de l'intestin ?

Naturellement présents dans certains aliments, ajoutés artificiellement à des préparations ou vendus sous forme de compléments alimentaires, les probiotiques nous sont devenus familiers. Ces microbes vivants appartiennent à de nombreuses espèces, dont les plus connues ressortissent aux genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* qui colonisent naturellement la flore de notre tube digestif et sont vitaux notamment pour le système immunitaire. L'industrie encourage leur absorption à travers des préparations laitières, leur action étant transitoire. Pourtant, leur intérêt n'a été officiellement validé que dans la prévention de la diarrhée associée à la prise d'antibiotiques et dans l'amélioration des symptômes chez les personnes souffrant du syndrome du côlon irritable. S. R.-M.

◀ Les probiotiques forment une barrière protectrice sur la paroi intestinale.

fortifiant et pour lutter contre les maux de gorge, il connaît un regain d'intérêt de la part des chercheurs en raison de ses propriétés antiseptiques. Pour être conservé, le nectar des plantes, qui contient jusqu'à 50 % d'eau, est en effet déshumidifié par les abeilles grâce à des régurgitations successives (trophallaxie) jusqu'à abaisser cette teneur à 17 % en moyenne. Cette faible humidité, associée à un fort taux de sucre (95 à 99 % de la matière sèche) et à un pH acide (3,9 en moyenne), empêche la croissance des bactéries. Ce caractère antiseptique est également lié à la présence de protéines (inhibines) qui stoppent la prolifération des bactéries et activent les défensines qui renforcent l'immunité. En médecine, le miel est donc utilisé en traitement adjuvant pour lutter contre les ulcères de l'estomac, mais aussi pour faciliter la cicatrisation des tissus. Le miel peut se substituer au sucre raffiné en cuisine et apporter des minéraux (en quantité très variable selon son origine) dont le sucre blanc est exempt.

Les épices : des substituts du sel

Les épices sont les grandes championnes du test Orac (Oxygen radical absorbance capacity : capacité d'absorption des radicaux oxygénés), mis au point il y a une quinzaine d'années par des chercheurs américains pour mesurer le pouvoir antioxydant des aliments dans l'organisme. Ainsi, le clou de girofle affiche un score de 314 446 unités Orac pour 100 g, la cannelle, 267 536 unités et le curcuma, 159 277. N'oublions cependant pas que notre consommation quotidienne dépasse rarement quelques grammes !

Les épices pourraient toutefois être davantage consommées si nous les substituions au sel. Elles sont en effet de bons exhausteurs de goût et sont exemptes de chlorure de sodium, un facteur d'hypertension et de maladies cardio-vasculaires. Une diminution de moitié de la consommation journalière de sel — soit 5 g au lieu de 10 en France — permettrait de réduire le taux global d'accidents vasculaires cérébraux dans la population de 23 % et le taux de maladies cardio-vasculaires de 17 % selon l'OMS.

Enfin, le goût prononcé des épices permet d'augmenter la consommation d'aliments riches en nutriments comme les fruits et légumes, qui souffrent de leur saveur moins accentuée que celle des produits gras, salés et sucrés préférés par les consommateurs. **M.-N. D.**

COURTESY A. NEHLIG

« Le café, un cocktail méconnu de molécules »

Astrid Nehlig Directrice de recherche à l'Inserm, faculté de médecine de Strasbourg

« On a longtemps réduit les molécules neuroprotectrices du café à la seule caféine. Mais il renferme d'autres agents actifs, comme des acides phénoliques dont les effets ont été étudiés *in vitro*. Ainsi, des travaux ont montré que l'acide chlorogénique joue un rôle dans l'amélioration de l'humeur et que l'acide férulique lutte contre le dépôt de peptides bêta-amyloïdes [dont l'accumulation en plaques est caractéristique de la maladie d'Alzheimer]. Il limite aussi la baisse d'un neurotransmetteur, l'acétylcholine, dont la diminution est symptomatique d'Alzheimer. Mais on ignore si, une fois mélangées, ces molécules conservent le même effet. *In vitro*, on occulte en effet la complexité des boissons, de l'organisme humain, et l'interaction entre les organes. Il reste donc encore à faire le lien avec l'effet protecteur montré sur l'homme par des études de population. » **Propos recueillis par M.-N. D.**

Charcuterie, fromage, vin : les conseils pour en profiter

En respectant quelques règles simples, ces produits souvent mis à l'index peuvent avoir leur place dans une alimentation équilibrée.

Le fromage : source de calcium

Souvent critiqué comme trop riche, le fromage n'est pourtant pas à exclure des menus. Une portion de 30 g — apport journalier recommandé — fournit en effet moins d'un tiers des apports limite conseillés en acides gras saturés (10 mg). Certains fromages sont aussi une excellente source de calcium, dont un Français sur deux n'atteint pas les apports recommandés, soit 900 mg chez l'adulte. Or le calcium, que l'on trouve également dans les légumes *(lire* S. et A. *n° 808, juin 2014, p. 10)* est indispensable à notre capital osseux mais aussi à la contraction musculaire et au maintien de la tension artérielle et du rythme cardiaque. « *Les fromages les plus riches en calcium sont ceux à pâte pressée et cuite* », précise le Dr Laurence Plumey, médecin nutritionniste à Paris. Ainsi 30 g d'emmental, de comté, de beaufort ou de parmesan fournissent 25 à 30 % des apports journaliers recommandés à tous les âges de la vie. Les fromages riches en eau, comme les chèvres frais, en sont en revanche dix fois moins bien dotés. Quant aux fromages fondus, dont raffolent les enfants, naturellement pauvres en calcium, ils sont souvent enrichis artificiellement avec du sel de calcium et sont donc à éviter. L'emmental, le camembert ou le beaufort sont également des sources de vitamine D, qui aide les os à assimiler le calcium. Attention cependant : les personnes devant surveiller leurs apports en sel veilleront à limiter les variétés les plus salées comme le roquefort ou la feta au profit de l'emmental ou du gruyère par exemple, moins riches en sodium.

La charcuterie : l'associer aux épices

Saucisse de Montbéliard, de Strasbourg ou de Toulouse, andouille de Vire ou de Guéméné..., chaque terroir a sa spécialité charcutière. Mais la charcuterie n'en est pas moins décriée pour ses effets sur la santé. En 2005, l'étude européenne EPIC a montré qu'une consommation de plus de 160 grammes de charcuterie — et de viande rouge — par jour augmentait le risque de cancer colorectal de 35 %. Sont incriminés les nitrites utilisés pour la conservation, susceptibles de produire des nitrosamines cancérogènes, et les substances produites par une cuisson trop vive, cancérogènes également. Le mieux est donc d'en consommer avec une extrême modération et d'y ajouter des épices, très riches en antioxydants : cela réduit la formation des composés néfastes. De même, si l'on ne peut résister aux saucisses grillées, il faut préférer les barbecues verticaux qui divisent par 10 à 30 fois la formation des substances

CHOCOLAT

Le petit carré de plaisir est un allié pour le cœur

L. MOUTON/ KIOSIME

Il est riche en substances actives : potassium, magnésium, calcium, vitamine B3, et surtout épicatéchine et procyanidine. Ces flavonols sont de puissants antioxydants qui cumulent des effets anti-inflammatoires et antithrombotiques et luttent contre l'hypertension artérielle, faisant ainsi du chocolat un allié pour le cœur. À condition qu'il soit noir, avec un minimum de 70 % de cacao. Il y a quelques mois, une équipe du Brigham and Women's Hospital (Boston, États-Unis) a lancé une étude sur 18 000 volontaires, la plus vaste jamais menée. Son objectif est de savoir si la prise régulière de ces flavonoïdes peut vraiment prévenir les infarctus et les accidents vasculaires cérébraux. Résultats en 2018. S. R.-M.

cancérogènes nées du contact des graisses avec les flammes. Enfin, si rillettes ou pâtés renferment jusqu'à 45 % d'acides gras saturés, mauvais pour le cœur et les vaisseaux, d'autres produits en sont relativement peu dotés comme le jambon cru, avec en moyenne 11 % de matière grasse, le jambon cuit, 6 %, et le bacon maigre, 3 %.

Le vin : avec grande modération

La marge entre consommation modérée bénéfique et excès délétère est étroite *(lire* S. et A. n° 763, *septembre 2010)*. Le rapport entre l'alcool et le risque cardio-vasculaire forme une courbe en U où les petits consommateurs — 1 à 2 verres par jour — semblent davantage protégés que les non-consommateurs et les gros buveurs. « *Mais le rapport entre l'alcool et le risque de cancers ORL et digestifs est, lui, croissant* », rappelle le Dr Plumey. Sans oublier que l'alcool est très calorique. Certes, le vin ne contient quasi pas de sucre (3 g pour 100 ml), que la fermentation transforme en alcool. Mais si un gramme de sucre fournit 4 kcal d'énergie, un gramme d'éthanol en apporte 7, deux verres de vin apportant 200 à 300 kcal soit 30 % des calories du dîner. Une raison de plus d'opter pour une consommation modérée. ■ **M.-N. D.**

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Les 100 Aliments santé pour vous et la planète,** Laurent Chevallier, Fayard
- **Éviter le cancer, ça dépend aussi de vous,** David Khayat, Odile Jacob. À paraître
- **À chacun son vrai poids, la santé avant tout,** Jean-Michel Lecerf, Odile Jacob
- **Le Grand Livre de l'alimentation,** Laurence Plumey, Eyrolles
- **Le site du Programme national nutrition santé** www.mangerbouger.fr

INTERVIEW

DR JEAN-MICHEL LECERF

CHEF DU SERVICE DE NUTRITION DE L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE

BIOTECHINFO

« Il faut rester à l'écoute de ses sensations »

Le spécialiste rappelle que manger est un acte complexe et critique l'étiquetage de la valeur nutritionnelle des produits.

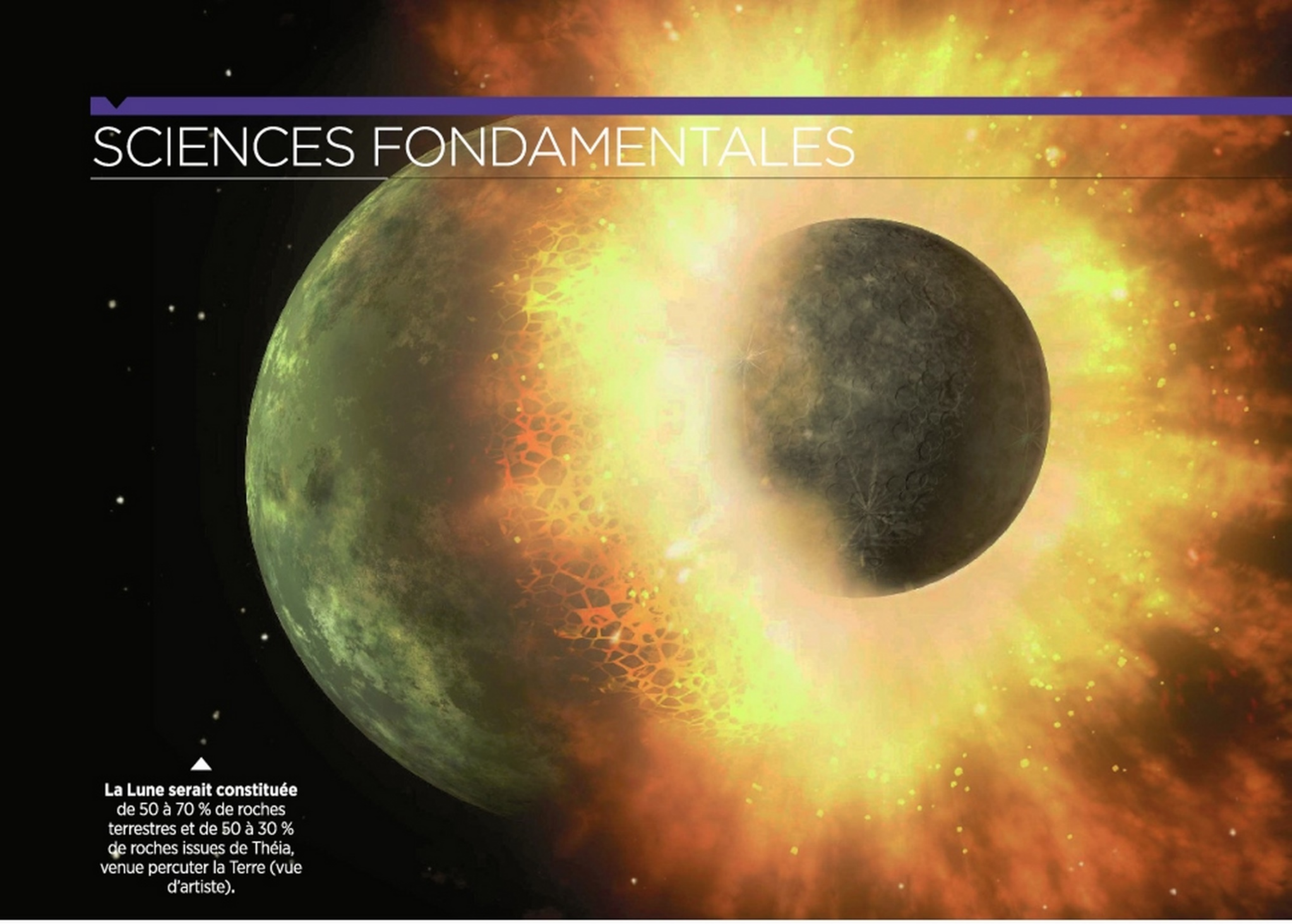
Quelle attitude adopter face à la cacophonie des messages nutritionnels ?
D'abord, aucun aliment ne doit être considéré comme indispensable. Il n'y a pas d'aliment magique qui contiendrait tout ce dont notre organisme a besoin. Il faut revenir à deux principes essentiels : la diversité et la modération. En pratique, cela revient à varier son alimentation. Il faut aussi diversifier, c'est-à-dire alterner les aliments d'une même famille et surtout en varier les préparations. Par exemple penser au court-bouillon ou à la cuisson à l'étouffée. Et faire preuve de modération, en particulier envers les aliments gras, salés et sucrés. Ces bonnes habitudes ne dispensent pas d'une activité physique régulière.

En quoi le plaisir est-il garant d'une alimentation équilibrée ?
Manger est un acte complexe lié aux besoins de l'organisme mais aussi aux habitudes familiales et culturelles. L'appétit est donc spontané mais aussi sous influence. Des signaux biologiques contrôlent la prise de nourriture, comme les hormones leptine et ghréline qui sont également impliquées dans l'augmentation ou la diminution du plaisir de manger en fonction des besoins énergétiques. Il faut donc rester à l'écoute de ses sensations. Ces signaux peuvent cependant être perturbés lorsque la sensation de plaisir devient un but en soi. Mais aussi lorsqu'il y a contrôle abusif et permanent. Les régimes à répétition sont les principaux responsables de la perte de sensation alimentaire : ceux qui les suivent ne savent plus comment se nourrir.

Sommes-nous tous génétiquement égaux devant l'appétit ?
Tout semble indiquer que nous ne sommes pas tous dotés de la même capacité à réguler notre appétit. Des travaux, qui n'en sont encore qu'à leurs débuts, devront expliquer comment plusieurs facteurs (leptine, ghréline, gènes MCAR et FTO) influent sur la régulation du comportement alimentaire.

Le projet d'étiquetage « vert, orange, rouge » indiquant la qualité nutritionnelle des produits est-il une bonne piste ?
Ce projet risque de ne pas apporter les bénéfices nutritionnels escomptés et de se révéler plus stigmatisant pour les consommateurs que pour les industriels ! Ces derniers n'hésiteront pas à casser les prix pour vendre des produits estampillés rouges, donc « mauvais » pour la santé. Résultat : seules les personnes aisées s'en détourneront, contrairement aux foyers modestes, déjà les plus exposés au surpoids et à l'obésité, qui continueront à en acheter tout en le taisant, par honte. Car la moralisation de l'alimentation peut facilement dériver vers la culpabilisation. C'est l'inverse de ce que l'on veut obtenir ! De plus, la question de la pertinence nutritionnelle de ce projet se pose. Ainsi, ce n'est pas parce qu'un aliment est calorique qu'il doit être exclu de l'alimentation. Exemple avec le sucre : miel, fruits secs et soda en fournissent en grande quantité, mais on ne peut pas mettre tous les aliments sur le même plan. Il semblerait plus judicieux de donner des repères de fréquence de consommation conseillée. Et se pencher davantage sur les déterminants socioculturels, économiques et comportementaux qui poussent à les consommer.

Propos recueillis par M.-N. D.



La Lune serait constituée de 50 à 70 % de roches terrestres et de 50 à 30 % de roches issues de Théia, venue percuter la Terre (vue d'artiste).

La Lune, fille d'une collision avec la Terre

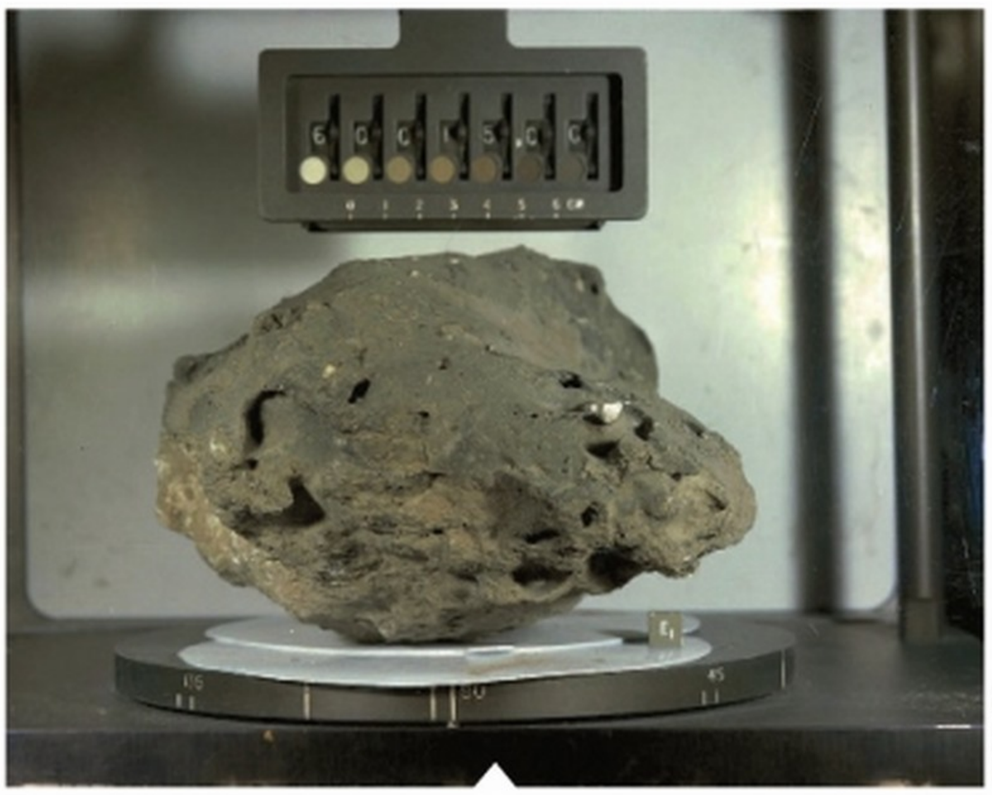
Une analyse des roches lunaires confirme que notre satellite se serait formé par agrégation de roches terrestres avec celles d'un objet céleste ayant percuté la Terre il y a environ 4,5 milliards d'années.

Par Jean-François Haït

C'EST UNE SCÈNE D'UNE VIOLENCE INOUÏE qui se déroule il y a environ 4,5 milliards d'années. Alors que notre Terre tourne avec toutes les autres planètes autour du Soleil depuis 30 à 70 millions d'années à peine, un objet céleste surgit tel un bolide du fin fond du cosmos. Théia, comme l'appellent les astronomes (1), la percute, aplatit l'un de ses hémisphères et se désintègre sous le choc. À notre jeune planète, qui dissimule un noyau de fer sous un océan de magma et peut-être déjà une croûte mince en surface, sont arrachées des milliards de tonnes de roches. Projetés dans l'espace, et sous l'influence de la gravité, les débris mélangés de la Terre et de Théia s'agglomèrent et, à l'instar des anneaux de Saturne, forment un disque en rotation autour de notre planète. Quelques centaines d'années plus tard, changement de décor : les roches se sont agrégées pour donner naissance à une grosse boule… notre satellite, la Lune. Rien à voir avec celle qu'on connaît aujourd'hui. À l'époque, il

s'agit d'un astre en fusion dont la température dépasse 1000 °C. Il faudra quelques dizaines de millions d'années avant que son noyau ne se forme et que ses roches ne cristallisent.

Rien de nouveau, diront certains. Voilà presque quarante ans que la plupart des astrophysiciens ont adopté cette explication catastrophe de la formation de la Lune par un impact géant sur la Terre. Reste que ce scénario bien ficelé n'avait pas reçu la preuve éclatante qui lui manquait : la Terre et la Lune ne présentent pas exactement la même composition. Il est maintenant possible d'expliquer pourquoi.



NASA/JSC

C'est grâce à l'analyse de roches rapportées par Apollo 16 en 1972 (ici, une anorthite) que le scénario de la formation lunaire se précise.

La preuve tient à une infime variation du taux d'oxygène

C'est cela que Daniel Herwartz et son équipe de l'université de Göttingen (Allemagne) ont su démontrer avec brio à leurs collègues, lors de la conférence de géophysique Goldschmidt à Sacramento (Californie), en juin. Et ce, en présentant les conclusions de l'analyse la plus précise jamais réalisée des roches lunaires rapportées par les astronautes de la Nasa, lors des missions Apollo 11, 12 et 16.

C'est la teneur en oxygène, ou plus précisément la différence entre « rapports isotopiques » de cet élément *(lire l'encadré p. 40)*, qui a constitué la meilleure preuve : un écart de 0,0012 % entre la Terre et la Lune. Un pourcentage apparemment mineur — à titre de comparaison, la différence entre roches terrestres et météorites de Mars est de 0,03 %, soit 25 fois plus — mais les chercheurs l'estiment significatif. Mieux, ils en tirent une fourchette plausible pour le mélange des roches Terre-Théia : notre Lune serait fille de la première à 50-70 %, et de la seconde à 30-50 % ! Non seulement le modèle d'une naissance par impact suivi de la coalescence des débris fonctionne, mais « *il est conforté par nos résultats* », souligne Daniel Herwartz. Reste à mieux fixer les proportions. « *Nous allons reprendre toutes les simulations déjà effectuées et voir celles qui satisfont cette différence* », explique Willy Benz, directeur de l'Institut de physique à l'université de Berne (Suisse).

Les scénarios n'ont pas manqué, il est vrai, depuis quarante ans *(lire l'encadré ci-dessous)*. Les pionniers du genre, qui remontent aux années 1975 et 1976, peu après que Neil Armstrong a été le premier homme à poser un pied sur la Lune, ne valent plus guère. Selon les hypothèses alors formulées par deux équipes d'astrophysiciens américains (2), Théia n'aurait pas dépassé la taille de Mars, et la composition de la Terre et celle de la Lune auraient été extrêmement voisines. Seule différence mesurable et facilement explicable à l'époque : la perte totale par la Lune de ses éléments « volatils », des molécules qui se vaporisent facilement sous l'effet de la chaleur, comme le potassium. Un signe patent que la Lune avait dû connaître une très haute température, cohérente avec le scénario d'une collision cosmique survenue quelque temps (à l'échelle astronomique) après la formation de la Terre. L'objet céleste Théia, avançait-on, aurait transféré beaucoup de son fer à notre planète mais peu à la Lune, qui ne présente qu'un petit noyau par rapport à son volume.

Dans les années 1980, avec les progrès des moyens informatiques et donc des simulations numériques, il est devenu possible de tester ces scénarios. « *En donnant à Théia la taille de Mars, une vitesse relative à la Terre de 11 km/s et un angle d'impact de 45 °, nous avions réussi à obtenir une Terre et une Lune virtuelles dont les masses et les mouvements correspondaient bien à la réalité* », raconte ▸

NASA/JPL - CALTECH

QUARANTE ANS DE THÉORIES

Les scénarios disqualifiés par la découverte

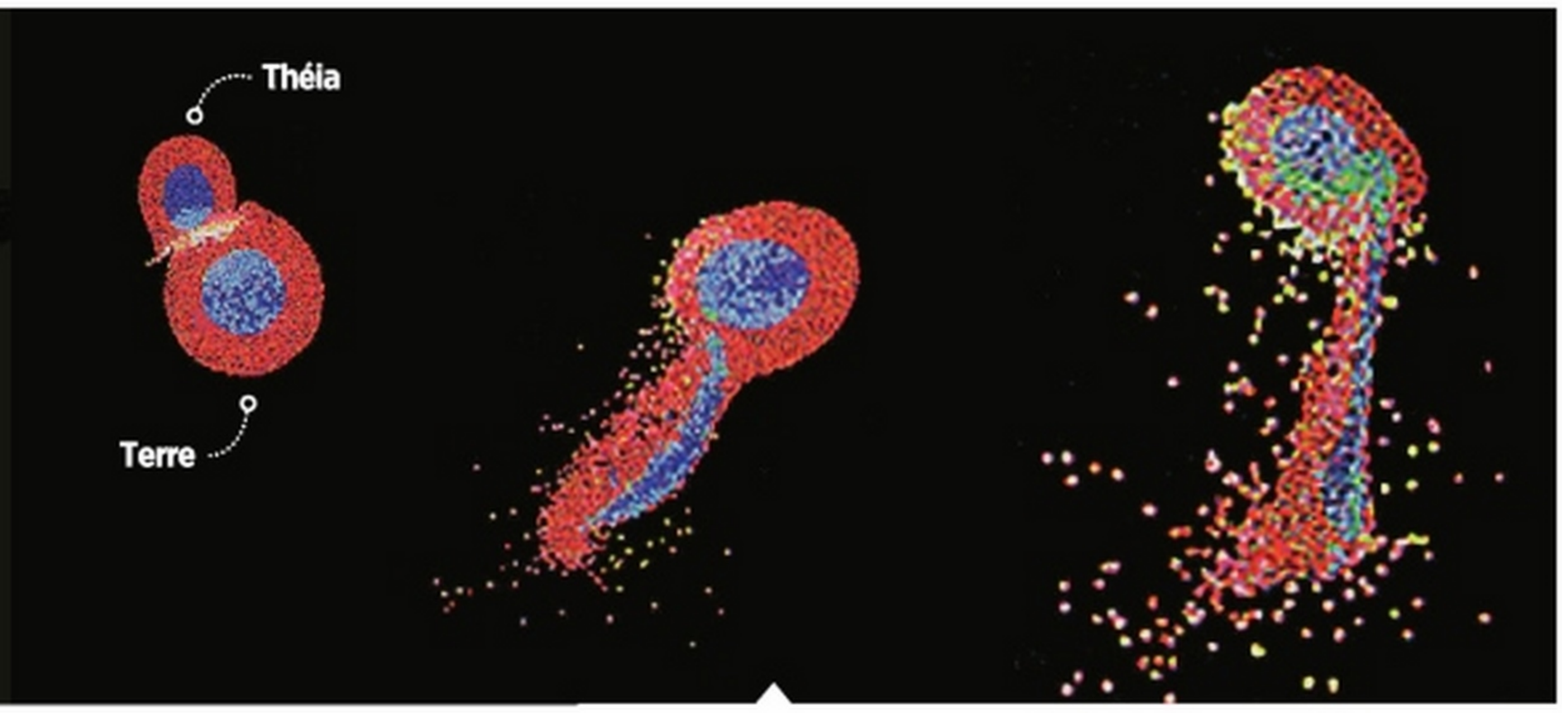
1. LA CAPTURE
Un corps formé dans une autre région du système Solaire est capturé par l'attraction gravitationnelle de la Terre et se met en orbite pour former la Lune.
Objection : ce scénario n'est possible que si les deux corps sont sur des orbites voisines, donc nés à la même distance du Soleil, dans les mêmes conditions de température. Leur proportion de fer devrait alors être similaire, ce qui n'est pas le cas.

2. LA FISSION Par l'effet de la force centrifuge, la Terre éjecte un morceau de sa surface, qui se place en orbite autour de celle-ci et forme la Lune.
Objection : la Lune devrait être dans le plan de l'équateur terrestre et non sur l'écliptique comme elle l'est aujourd'hui.

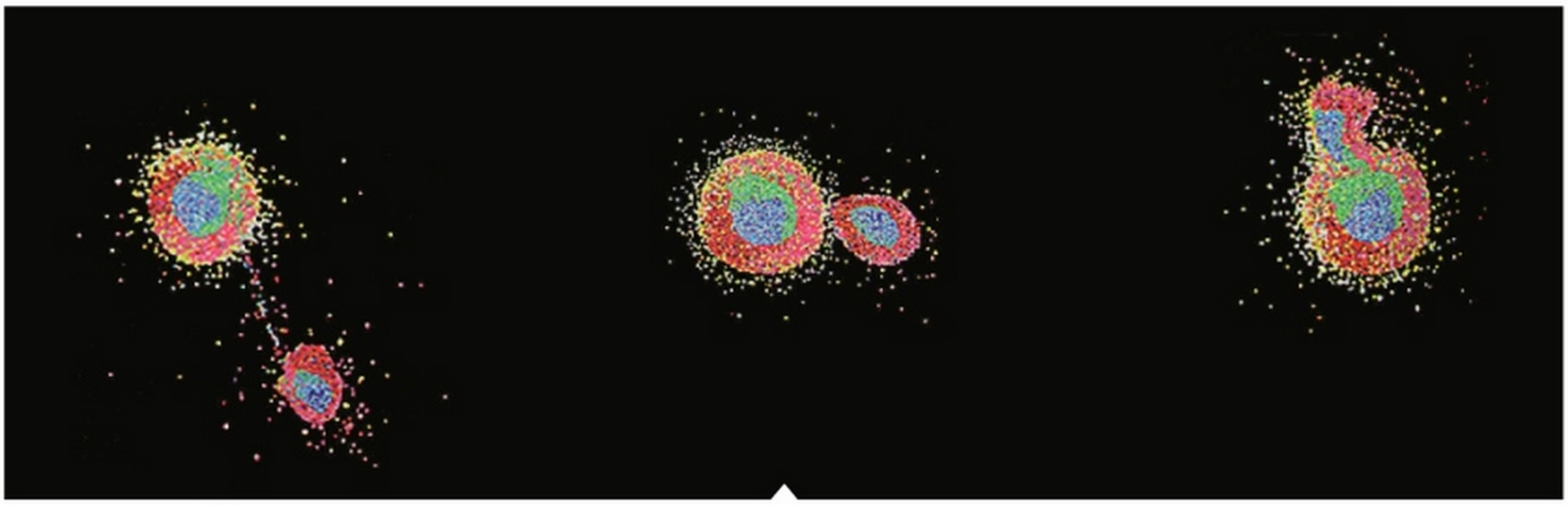
3. LA FORMATION SIMULTANÉE
La Terre et la Lune se forment dans la même région par l'accrétion des mêmes poussières en gravitant l'une autour de l'autre.
Objection : la Lune devrait avoir la même proportion de fer que la Terre, or cette proportion est bien inférieure.

La formation de la Lune, étape par étape

Cette simulation informatique révèle les différentes phases de constitution de notre satellite, après la collision entre la Terre et Théia, il y a 4,5 milliards d'années.



❶ **Théia percute la Terre.** En rouge : leur manteau ; en bleu, leur noyau.



❷ **L'objet céleste rebondit dans l'espace** avant de retomber sur Terre et de fusionner une partie de son noyau avec elle.

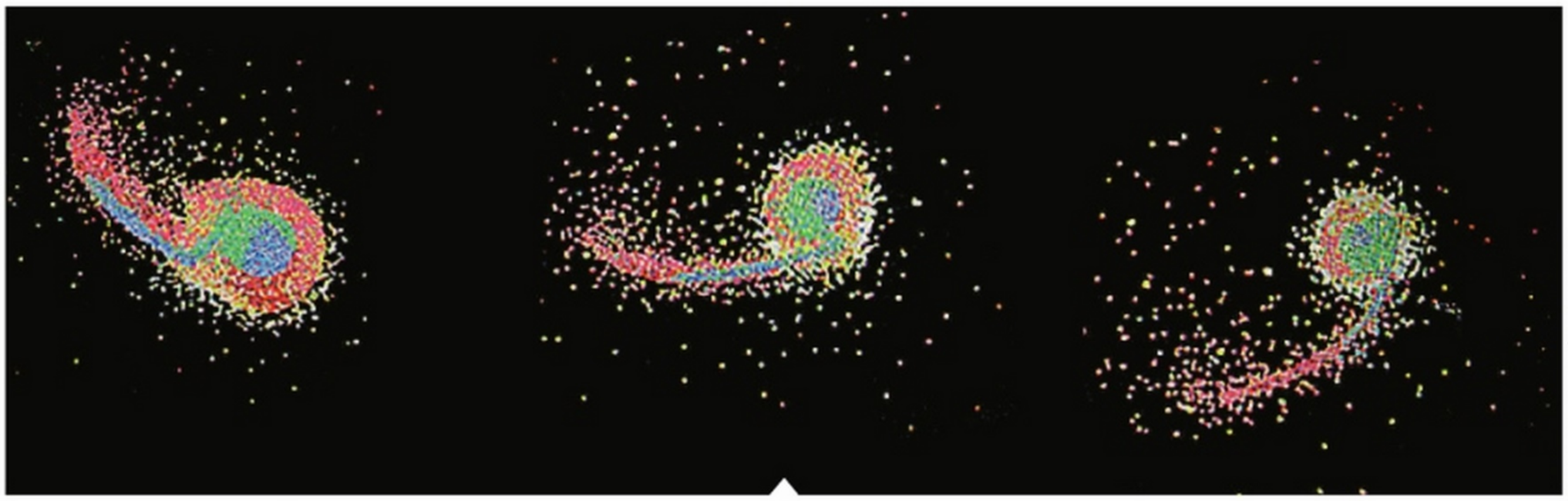
SIGNATURE CHIMIQUE

Les isotopes révélateurs

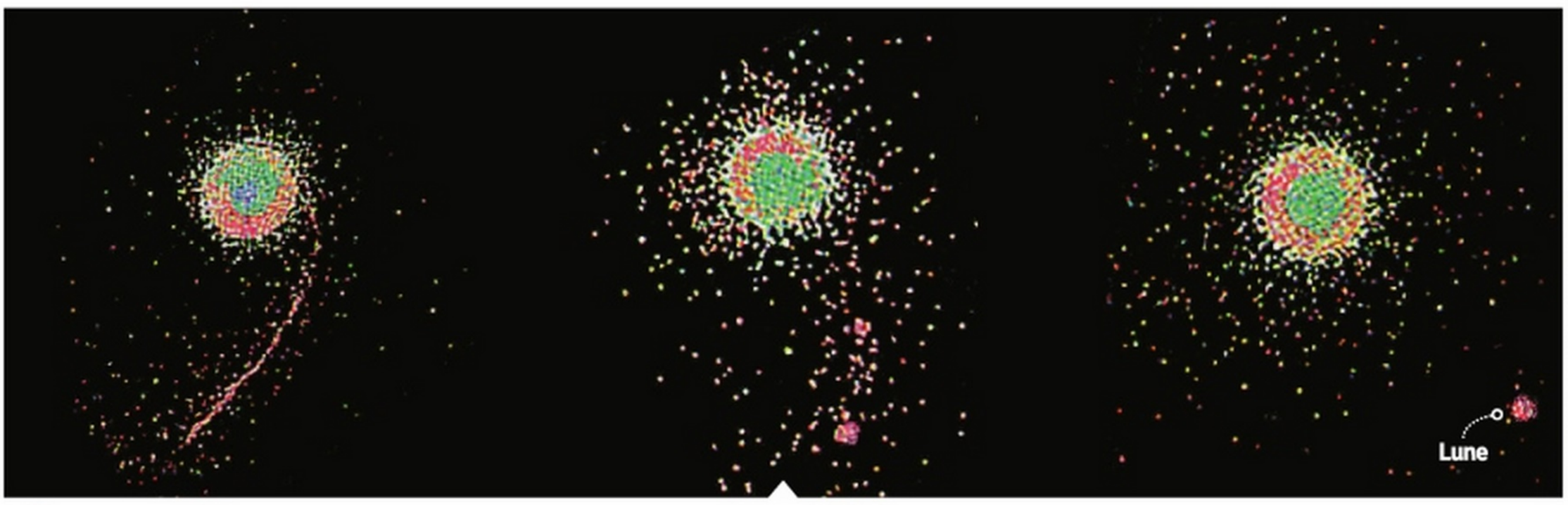
L'analyse d'une roche, en révélant les isotopes qu'elle contient, constitue une véritable signature de cette dernière. Un élément chimique, rappelons-le, peut posséder plusieurs isotopes. Il s'agit de formes différentes du noyau atomique (assemblage de protons et neutrons), comptant un nombre plus ou moins élevé de neutrons. Il existe ainsi trois isotopes stables de l'oxygène, ^{16}O, ^{17}O et ^{18}O, dont les noyaux possèdent respectivement 8, 9 et 10 neutrons, et dix isotopes instables (radioactifs). Lors de la formation d'un élément au sein d'une étoile, les isotopes sont distribués de façon égale. Ultérieurement, cette distribution se modifie, notamment avec les conditions du milieu (température, pression, eau liquide ou vapeur, etc.). La « signature » évoquée plus haut peut être caractérisée par le rapport entre isotopes, par exemple entre ^{17}O (rare) et ^{16}O (très commun), qu'on appelle « delta ^{17}O ». Ce rapport est obtenu par un spectromètre de masse, appareil qui identifie les éléments (grâce à des spectres caractéristiques) selon leur masse, et leurs isotopes, car la masse de ces derniers varie avec le nombre de neutrons. Pour les roches lunaires, explique Daniel Herwartz, *« nous avons extrait l'oxygène de l'échantillon sous forme de gaz et l'avons purifié au maximum afin d'avoir les mesures les plus fines possibles »*.

Willy Benz. Seulement voilà, *« il restait une chose que nous ne parvenions pas à expliquer : le fait que les roches lunaires et terrestres avaient la même composition isotopique »*. C'est cette fausse similarité qui vient enfin de tomber.

Du coup, la collision a changé de modèle. Celui qui a le vent en poupe depuis 2012, tout particulièrement grâce aux travaux de Daniel Herwartz, a pour nom *hit-and-run* (délit de fuite, en anglais). Il voit Théia deux fois plus massif que Mars, bien plus rapide qu'avant (15 km/s) et plongeant vers la Terre sous un angle plus rasant (30 à 35°). Si du matériau terrestre est éjecté en masse au moment de l'impact (« *hit* »), une bonne partie du bolide continue sa course dans l'espace (« *run* »).



❸ **De nombreux débris mélangés de la Terre et de Théia** entament une rotation autour de notre planète.



COURTESY OF A.G.W. CAMERON, HARVARD COLLEGE OBSERVATORY ET PIERRE THOMAS, LABORATOIRE DE GÉOLOGIE DE LYON

❹ **Certains débris commencent à s'agréger** qui formeront, quelques centaines d'années plus tard, la Lune (point rouge en bas à droite de la dernière image).

Résultat : la part de la Lune en provenance de notre planète Terre serait au plus de 56 %. Et la nature de Théia de se faire plus précise : sa composition serait proche de celle de météorites très rares, appelées chondrites à enstatite, qui ont contribué pour partie à la formation de la Terre, selon les planétologues.

Ces précisions viennent après bien des virevoltes — il fut dit, il y a quelques années, que Théia et la Terre auraient été très proches, se formant dans des conditions similaires et évoluant sur des orbites voisines, avant que l'inverse ne soit affirmé. Elles ne constituent pas pour autant le point d'orgue de la recherche. Car les scientifiques n'en ont toujours pas fini avec les énigmes de la formation lunaire.

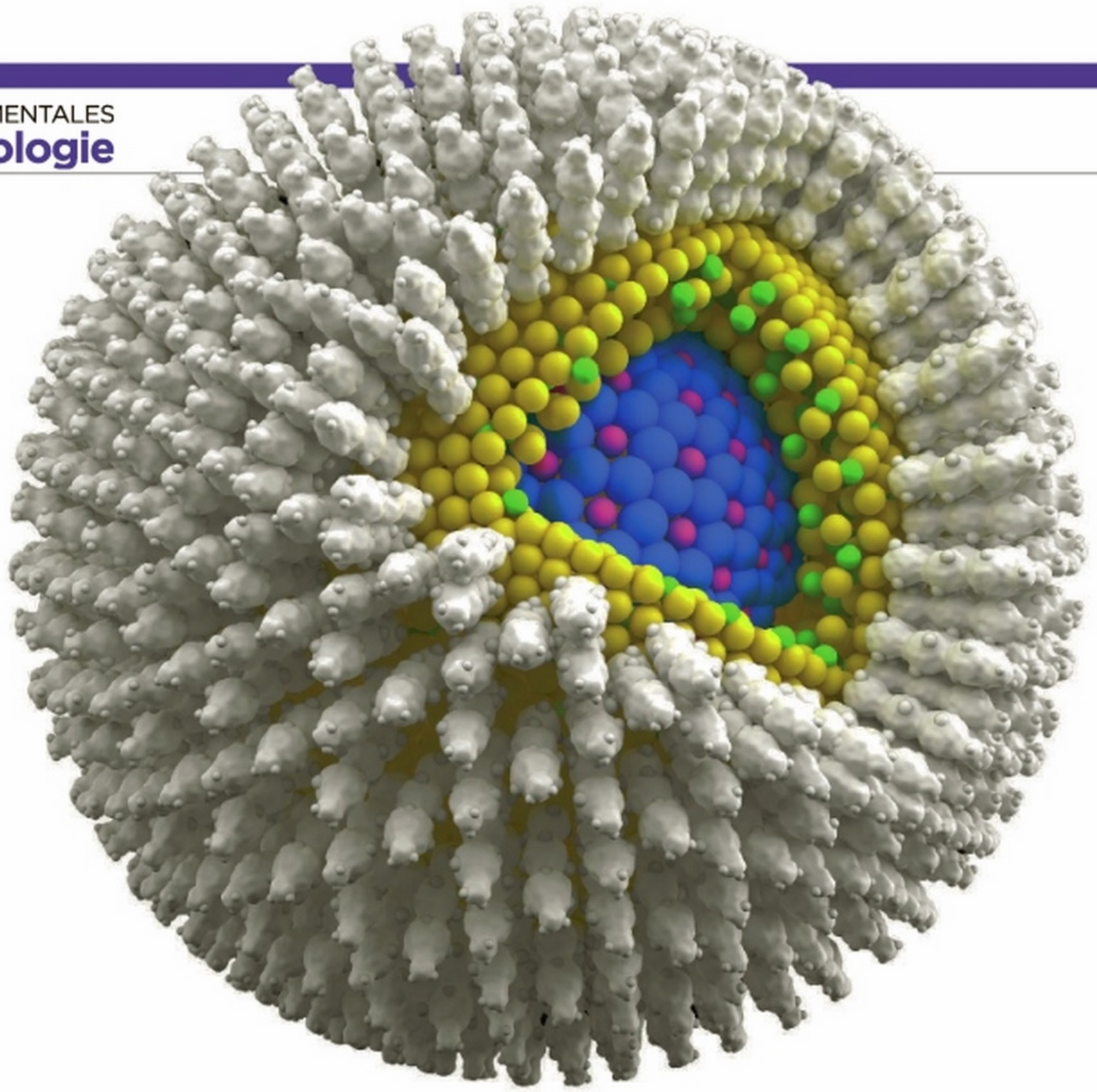
Il reste à tester d'autres isotopes, comme ceux du titane, du calcium, du silicium ou du tungstène, pour lesquels il n'a pas été trouvé de différence entre Terre et Lune. Certains envisagent même de chercher des traces de Théia dans les roches terrestres.

Ainsi, lors de la conférence Goldschmidt, Sujoy Mukhopadhyay, de l'université Harvard (États-Unis), et son équipe ont présenté une étude qui a consisté à comparer des roches venues du manteau profond de la Terre et d'autres issues du manteau superficiel. Résultat : en menant de nouvelles analyses isotopiques sur des éléments tels l'hélium, le néodyme, le xénon, une différence entre ces roches a été découverte. Explication : sous l'impact de Théia, l'un des deux hémisphères de la Terre, heurté de plein fouet, a fondu et l'autre non (ou moins). Et le feuilleton continue.

Tentés par ces expériences sur les roches du manteau, les chercheurs de Göttingen vont, eux aussi, se mettre en quête de nouvelles différences isotopiques. En renouant avec leur élément favori, l'oxygène. Preuve, s'il en fallait une, que pour mieux connaître la Terre, il faut étudier la Lune, et réciproquement. ■

(1) Nom de la mère de Séléné, déesse de la Lune dans la mythologie grecque, qui lui a été donné par Alex Halliday, chercheur à l'université d'Oxford (Royaume-Uni).

(2) L'équipe de William K. Hartmann et Donald R. Davis (Institut de sciences planétaires, Tucson, Arizona), et celle d'Alistair G. W. Cameron et William R. Ward (Centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian, Cambridge, États-Unis).



Les quantum dots les plus élaborés peuvent arborer une coque protectrice et des ligands capables de se fixer sur une cible biologique.

Ces cristaux nous en font voir de toutes les couleurs

Ils débarquent dans nos écrans de tablette et de télévision. Les quantum dots possèdent des propriétés optiques étonnantes, aux nombreuses applications électroniques ou médicales.

« AU DÉBUT, PERSONNE NE VOULAIT Y CROIRE », se rappelle le physicien russe Alexander Efros, le premier à avoir expliqué au début des années 1980 les extraordinaires propriétés des quantums dots, ces minuscules cristaux d'à peine quelques nanomètres (10 000 fois plus petits qu'un cheveu) découverts quelques années plus tôt dans des verres colorés. *« Si les vitraux des cathédrales ont ces teintes éclatantes, c'est en partie grâce aux quantum dots !* raconte le physicien. *Ces particules étaient sous nos yeux depuis des siècles.* » Et elles réservaient une surprise de taille aux chercheurs : leur couleur dépend de leur dimension et non de leur composition chimique. *« La communauté scientifique était très sceptique sur ce point. Il nous a fallu plusieurs années d'expérimentation pour la convaincre »*, poursuit Alexander Efros. C'est aujourd'hui chose faite. Mieux, les quantum dots — dont la synthèse est désormais maîtrisée — constituent une avancée technologique majeure aux nombreuses applications. En particulier dans le domaine des écrans, dont ils améliorent considérablement la richesse des couleurs grâce à leur fluorescence. Un écran LCD classique ne restitue qu'un tiers environ des nuances chromatiques visibles par l'œil humain contre... plus de 50 % pour les technolo-

EKATERINA SHILOVA

FLUORESCENCE Émission de lumière due à l'excitation d'une molécule exposée à un rayonnement.

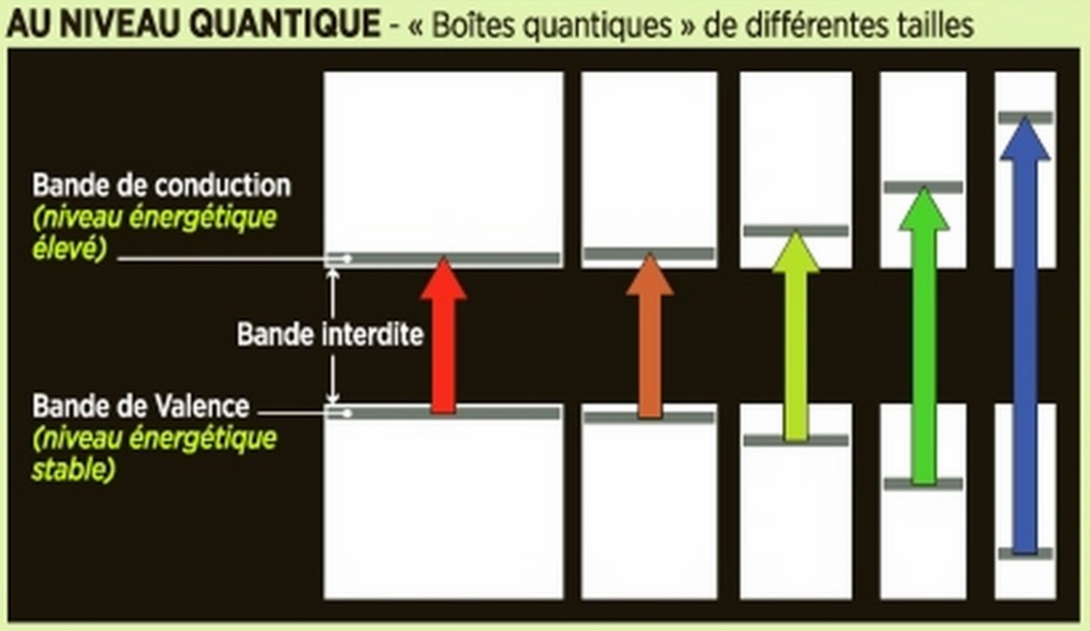
SEMI-CONDUCTEUR Matériau isolant ou conducteur selon le champ électrique auquel il est soumis.

PARTICULE QUANTIQUE Particule présentant des niveaux énergétiques quantifiés et discontinus.

Leur teinte dépend de leur taille

À L'ŒIL NU - Quantum dots de différentes tailles en solution

AU NIVEAU QUANTIQUE - « Boîtes quantiques » de différentes tailles



BETTY LAFON / SOURCE DREXEL UNIVERSITY

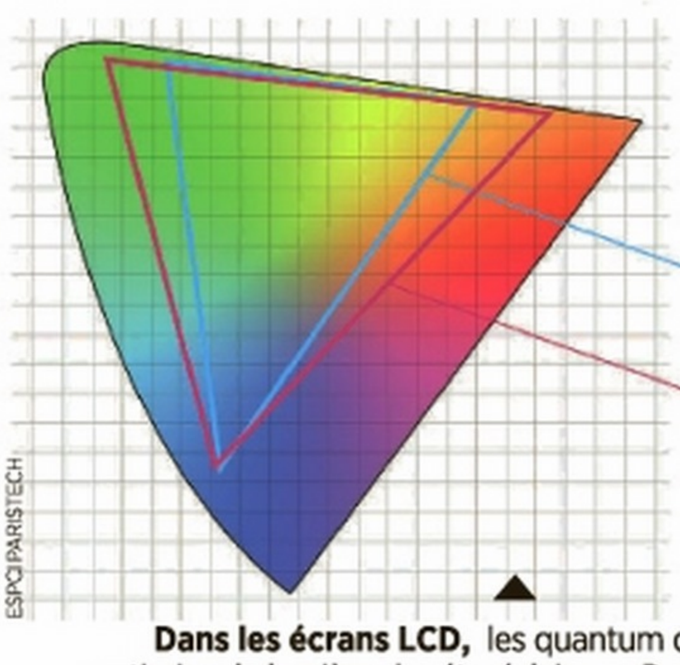
Les quantum dots sont constitués d'atomes semi-conducteurs. Lorsqu'ils reçoivent de l'énergie sous forme de rayonnement, leurs électrons passent d'un niveau énergétique stable (bande de valence) à un niveau plus élevé (bande de conduction), franchissant ainsi la bande interdite qui les sépare. Le retour des électrons à l'état initial s'accompagne d'une émission d'énergie sous forme de lumière dont la longueur d'onde (donc la couleur) dépend de la largeur de la bande interdite. Plus le quantum dot est petit, plus la bande interdite est large et plus la longueur d'onde est faible (et la fréquence élevée). Une « petite » particule émettra donc dans le bleu (470 nm) alors qu'une particule plus grande diffusera dans le rouge (650 nm). En faisant varier la taille de cristaux de même composition, il est ainsi possible de couvrir l'ensemble du spectre de l'infrarouge à l'ultraviolet.

gies à base de quantum dots. Un avantage qui pourrait se révéler décisif pour les industriels, lancés dans une course effrénée à l'innovation. D'ores et déjà, Amazon a équipé en quantum dots sa tablette Kindle Fire HDX tandis que Sony en a doté certains de ses téléviseurs. Apple pourrait suivre avec l'iPhone 6 dont la sortie est prévue cet automne aux États-Unis.

De minuscules boîtes au comportement quantique

Depuis les toutes premières observations dans des verres colorés par Alexei Ekimov, chercheur à l'Institut d'optique d'État Vavilov de Leningrad (aujourd'hui Saint-Pétersbourg, Russie), trente ans auront donc été nécessaires pour dompter ces étonnants cristaux au comportement quantique. Leur largeur ne dépassant pas quelques dizaines d'atomes, ils forment de minuscules « points » de matière — d'où leur nom de « quantum dots », ou points quantiques. Et leur très petite taille, à l'origine de leurs propriétés inédites, impose de nouvelles règles du jeu. *« Ces cristaux, constitués de composés semi-conducteurs, sont comme de minuscules boîtes qui compriment les électrons dans un espace trop petit pour eux*, explique Peter Reiss, responsable du Laboratoire d'électronique moléculaire, organique et hybride au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), à Grenoble. *Lorsqu'ils sont excités par un rayonnement, les électrons se mettent en mouvement pour dissiper leur énergie mais leur déplacement est alors limité.* » Et, comme quelqu'un qui se taperait contre les murs d'une pièce trop petite et s'en agacerait, leur énergie augmente. Ainsi, plus le cristal (la boîte) est petit, plus l'énergie des électrons grimpe en flèche et plus la lumière émise lors de leur retour à l'équilibre a une fréquence élevée *(lire l'encadré ci-dessus)*. En pratique, un « grand » quantum dot émettra dans le rouge (basse fréquence), alors qu'un « petit » produira une lumière bleue (basse fréquence). En faisant varier le diamètre des cristaux, on obtient ainsi une gamme de teintes couvrant tout le spectre de l'infrarouge à l'ultraviolet en passant par le visible *(voir l'infographie ci-contre)*.

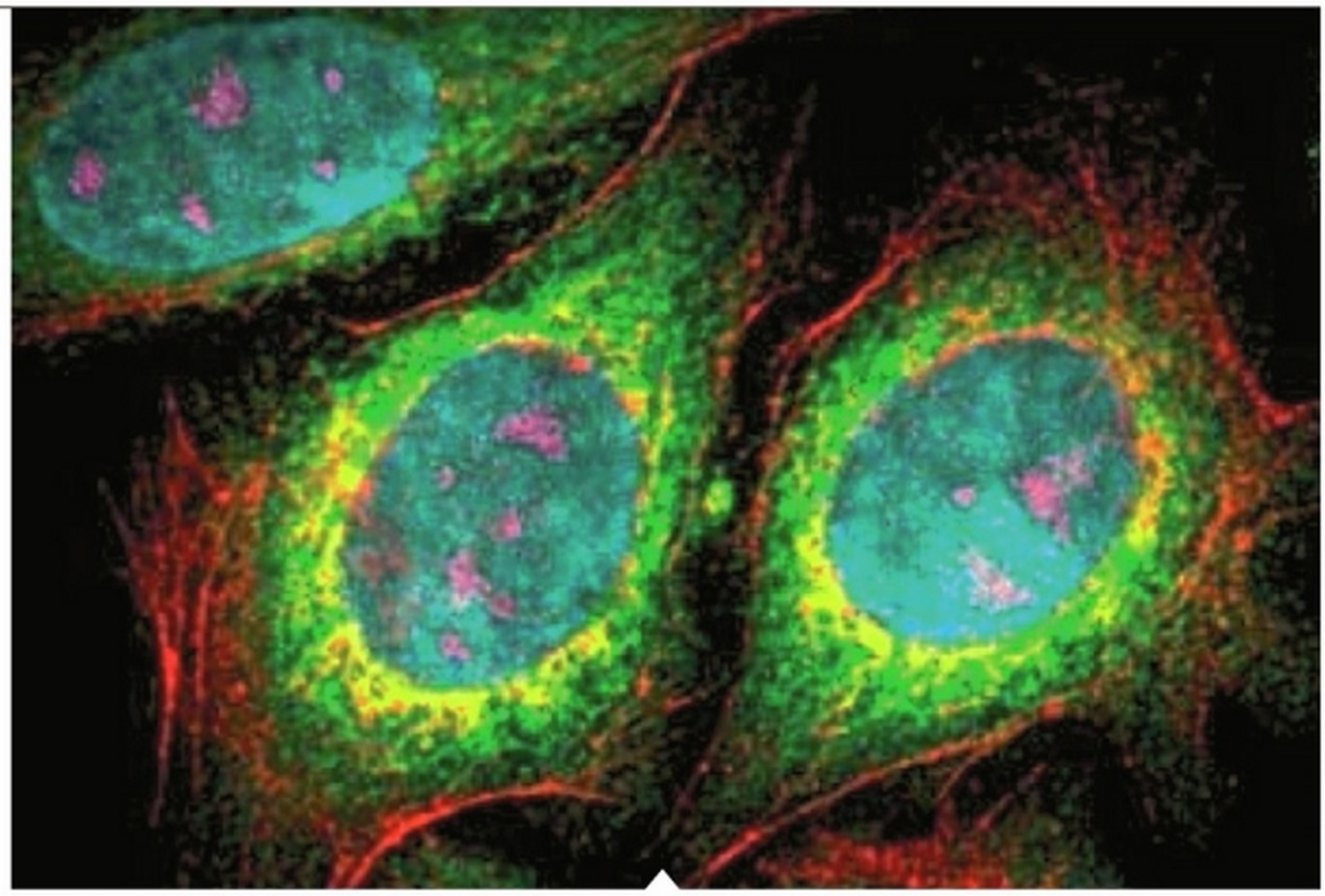
SPL / BSIP



ESPCI PARISTECH

Dans les écrans LCD, les quantum dots servent à optimiser la lumière du rétroéclairage. Des particules vertes et rouges sont excitées par des LED bleues afin de produire une lumière blanche plus pure et plus intense. Une technologie qui permet de doubler la gamme chromatique par rapport à un écran LCD classique. Une deuxième génération d'écrans pourrait utiliser les quantum dots pour émettre directement les composantes rouge, verte et bleue de chaque pixel. En 2010, Samsung a déjà présenté un prototype sur ce principe.

Pour produire cette palette colorée, encore fallait-il maîtriser la fabrication des quantum dots. *« Le coup de génie a été de réussir leur synthèse dans un liquide »*,



THERMO FISHER INC, USED UNDER PERMISSION

L'imagerie médicale gagne en précision grâce aux quantum dots : les filaments d'actine de ces cellules épithéliales humaines apparaissent en rouge, les mitochondries en jaune, les microtubules en vert.

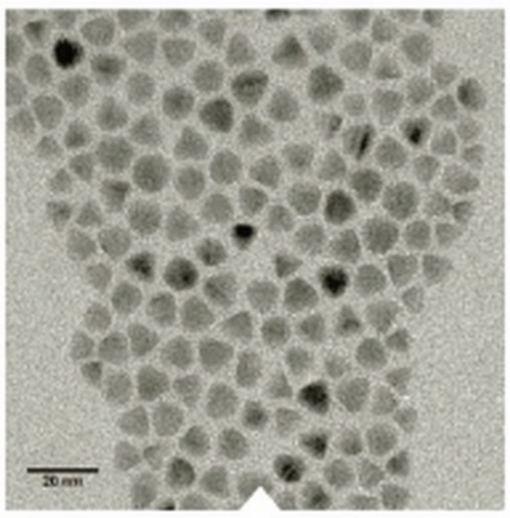
raconte Benoît Dubertret, qui dirige l'équipe de recherche Parisian Quantum Dots à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI ParisTech). Une méthode peu coûteuse mise au point au milieu des années 1980 par le chimiste américain Louis Brus. *« Il suffit de mettre des sels en solution dans un solvant chauffé jusqu'à 300 °C. C'est le même mécanisme qu'avec du sel de table : quand vous le versez dans l'eau, le liquide finit par arriver à saturation et des cristaux se forment. Si vous continuez à ajouter du sel, les cristaux deviennent plus gros. C'est pareil avec les quantum dots. »*

Fluorescents, ils font d'excellents biomarqueurs

À en croire Benoît Dubertret, le principe est si simple qu'on pourrait presque fabriquer des quantum dots chez soi, dans une casserole, avec de l'huile d'olive pour solvant. Une recette que les chercheurs maîtrisent aujourd'hui parfaitement, au point de parvenir à synthétiser des cristaux à l'atome près. Et de pousser plus loin la sophistication : les particules peuvent être agrémentées d'une coque constituée d'un second matériau afin d'améliorer leur fluorescence, mais aussi de « ligands », des molécules qui leur permettent de se fixer sélectivement à une cible biologique. On peut aussi faire varier leur forme à l'envi : sphères, plaquettes, cylindres, tétrapodes... autant de variantes aux propriétés multiples qui décuplent le champ des applications.

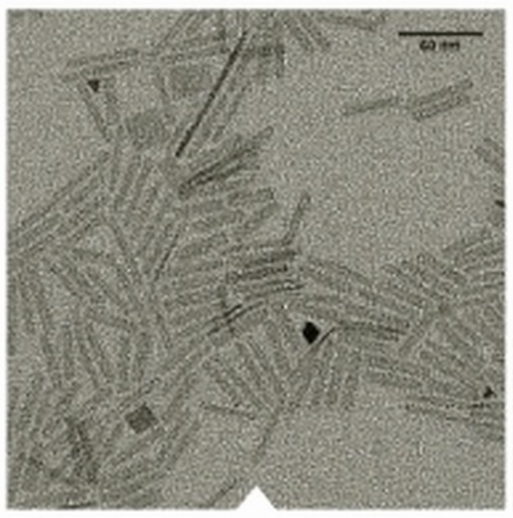
Le marché international des quantum dots ne pèse encore que 80 millions d'euros, mais pourrait atteindre plusieurs milliards d'ici à 2020 selon les estimations. Parmi les start-up — principalement américaines — qui sont déjà sur les rangs, on compte la française Next Dot, adossée à l'ESPCI ParisTech, qui emploie une dizaine de chercheurs. Elle travaille entre autres sur des cristaux en forme de plaquettes à destination des écrans à cristaux liquides et de l'imagerie biologique, une autre application majeure. *« Les quantum dots sont d'excellents biomarqueurs, porteurs de grands espoirs en médecine »*, souligne en effet Benoît Dubertret. Grâce à leur large palette chromatique, ils permettent de « colorier » différentes parties d'un tissu ou d'une cellule afin de procéder à des diagnostics *in vitro*. Leur fluorescence est même suffisamment puissante et stable pour observer directement au microscope l'évolution d'un processus biologique. *In vivo*, ils peuvent guider la main du chirurgien qui visualise ainsi en temps réel, pendant l'intervention, les limites d'une tumeur ou d'un tissu malade. Des expériences ont déjà été réalisées avec succès chez le porc ou la souris, mais pas encore chez l'homme. *« Les quantum dots en usage sont à base de cadmium ou de plomb et peuvent présenter une toxicité*, précise Peter Reiss. *Nous cherchons donc des alternatives à ces composés.* » Des travaux qui ont toute leur importance dans la perspective d'une commercialisation accrue. ■ **Audrey Boehly**

Ils peuvent prendre diverses formes



Quantum dots sphériques doublés d'une coque.

Nanotubes composés de cadmium et de sélénium.

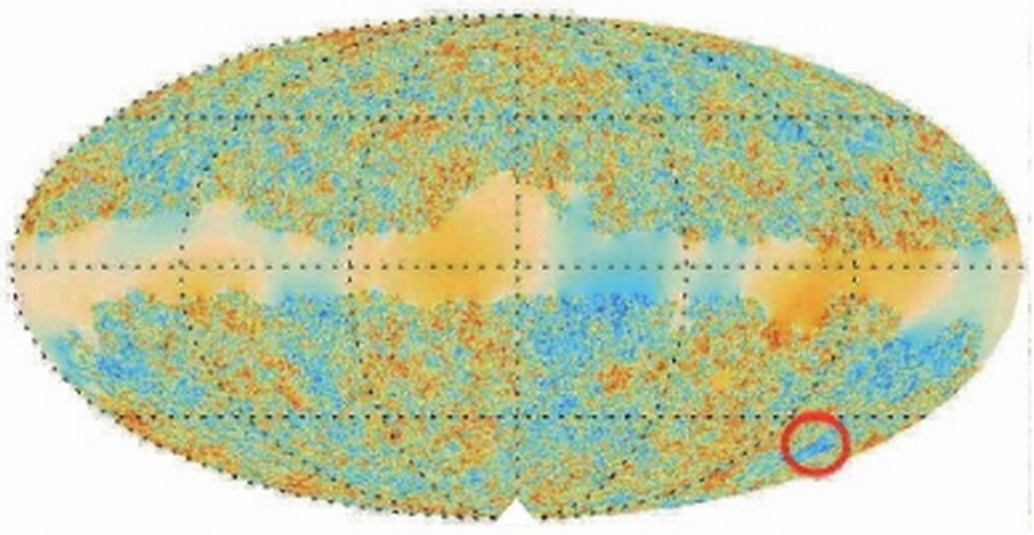


Nanoplaquettes formées de cadmium et de sélénium.

PHOTOS NEXTDOT

Deux monstres cosmiques annihilés

Un traitement numérique a « nettoyé » les images du fond cosmique d'artefacts inexplicables.



La « tache froide » (entourée de rouge) n'était qu'une illusion.

MAIS OÙ SONT PASSÉS « l'axe du mal » et « la tache froide », ces zones incompréhensibles des plus récentes cartes de l'Univers fournies par les satellites Planck et WMAP ? Ouf ! les cosmologistes respirent, ces monstres cosmiques ont quasiment disparu, après traitement numérique des données par une équipe de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse) sous la houlette d'Anaïs Rassat, et par le service d'astrophysique du CEA, à Saclay (Essonne)*. Les signaux enregistrés dessinaient, d'une part, une zone d'environ 10° sur le ciel où la température était bizarrement faible – la tache froide – et, d'autre part, un axe privilégié dans l'Univers dû à une dissymétrie des mesures entre le nord et le sud – baptisé « axe du mal ». Ces bizarreries avaient même conduit certains à s'interroger sur la nécessité d'une nouvelle physique.

Exit l'interrogation, il s'agissait de deux aberrations. « *Nous avons tenté une nouvelle méthode statistique pour soustraire les émissions parasites*, explique Jean-Luc Starck du CEA, *ce qui a apporté les corrections numériques nécessaires.* »

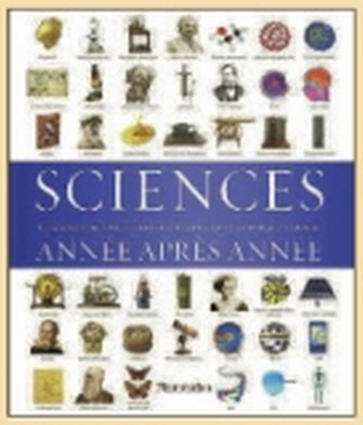
Rappelons que l'objectif de Planck et WMAP a été de traquer la première lumière de l'Univers émise lorsque ce dernier était âgé de 380 000 ans *(lire S. et A. n° 794, avril 2013)*. En 1992, leur ancêtre, le satellite américain Cobe avait révélé d'infimes contrastes de température (de l'ordre du millionième de degré) dans la distribution de cette première lueur attendue comme homogène. Des différences attribuées aux variations de densité du cosmos, traduites par le fameux moucheté bleu et rose des cartes cosmologiques, et qui ont évolué ensuite en amorce de futures galaxies. Il était donc fort suspect d'observer une large zone plus froide ainsi qu'une direction privilégiée, quand le principe cosmologique stipule que l'Univers est homogène. Et c'est bien le cas. ■ **Azar Khalatbari**

* *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics.*

PLANCK/ESA

Livres
Sciences fondamentales

Sciences année après année



Sous la direction de Robert Winston, Flammarion, 400 p., 32 € (à paraître le 24 septembre)

Depuis la maîtrise du feu jusqu'à la robotique de pointe en passant par l'invention de la roue, cette encyclopédie richement illustrée retrace chronologiquement les découvertes qui ont marqué l'histoire des sciences. Bien conçus, schémas et illustrations donnent les repères essentiels pour comprendre les notions fondamentales et les avancées technologiques majeures. Un ouvrage de référence. **Audrey Boehly**

C'est mathématique !

Carina Louart et Florence Pinaud, illustré par Jochen Gerner, Actes Sud Junior, 112 p., 18 €

Voilà un livre qui réconciliera peut-être votre bambin avec les maths ! On y apprend que les Mayas comptaient avec leurs doigts de pied, que le nom du moteur de recherche Google s'inspire du nombre « gogol » (1 suivi de cent zéros), ou que les chiffres que nous appelons arabes ont été inventés... par les Indiens. Instructif, ludique et illustré avec humour, cet ouvrage retrace l'histoire des mathématiques et de quelle manière elles ont contribué à façonner la vie moderne. Dès 9 ans. **A. B.**

La science expliquée à mes petits-enfants

Jean-Marc Lévy-Leblond, Seuil, 100 p., 8 € (à paraître le 11 septembre)

L'une est une petite fille malicieuse férue de cirque et d'acrobatie qui connaît par cœur le répertoire des Beatles, mais s'ennuie ferme en cours de maths et de physique. L'autre, son grand-père, physicien, est un des meilleurs passeurs de sciences en France. Leur dialogue — sur le ton d'un banal échange estival — aborde avec subtilité les questions les plus pertinentes à propos de la science, sa méthode, sa finalité, à travers des exemples surprenants et des anecdotes savoureuses. **A. Kh.**

Le mystère d'Amphipolis

Qui est inhumé dans ce monument extraordinairement bien conservé mis au jour en Grèce ? Roxanne, l'épouse d'Alexandre le Grand ? La découverte, majeure, tient le monde de l'archéologie en haleine. Reportage exclusif.

Par Bernadette Arnaud

IL FAUT TRAVERSER des oliveraies puis longer quelques alignements de pieds de vignes et d'amandiers avant de voir apparaître la colline incendiée de soleil… et les deux pelles mécaniques. Depuis plusieurs semaines, leurs griffes d'acier grignotent méthodiquement les flancs d'un tertre élevé à l'époque hellénistique, le « tumulus Kastas », mettant fin à près de 2300 ans de quiétude. Ces engins de terrassement participent en effet depuis le début de juillet à la mise au jour, à 106 km à l'est de Thessalonique, d'une extraordinaire trouvaille. Celle d'un monument funéraire aux proportions démesurées dressé sur l'antique site d'Amphipolis, fondé en 437 avant J.-C., l'une des six plus importantes cités de l'ancienne Grèce. Ce tumulus artificiel, situé au cœur de la Macédoine centrale, la patrie d'Alexandre le Grand (356-323 avant J.-C.), est le plus vaste connu avec ses 500 m de circonférence. « *Il n'existe rien d'équivalent dans toute la Grèce et l'Asie mineure !* », s'enthousiasment les spécialistes. À Paris, Sophie Descamps, conservatrice en chef du patrimoine au musée du Louvre, n'hésite pas à l'affirmer : ces fouilles sont les plus importantes menées aujourd'hui en Grèce. « *Cette construction possède des dimensions supérieures à celles des plus monumentaux tombeaux de Vergina, l'ancienne nécropole royale des souverains macédoniens.* » C'est en effet sur ce site, situé plus à l'ouest, qu'avait été découvert en 1977 le tombeau de Philippe II, le père d'Alexandre.

ERICH LESSING/AKG IMAGES

Alexandre (ici représenté sur une mosaïque romaine), roi de Macédoine, fut le plus grand conquérant de l'Antiquité.

Une enceinte sacrée de près de 500 m de circonférence

Venue vérifier l'avancée des déblaiements, Katérina Péristeri, la directrice de la XXVIII^e^ Éphorie des Antiquités préhistoriques et classiques de Serrès, la capitale régionale, attend leur achèvement pour débuter sa troisième campagne de terrain. Car juste au-dessus d'une boucle du Strymon, le fleuve autrefois navigable qui se jette dans la mer Égée toute proche, ce sont ses travaux, démarrés en 2012, qui ont révélé l'existence de ce monument de plus de 150 m de diamètre. L'édifice circulaire est ceint d'un péribole de 3 mètres de haut. Cette enceinte sacrée de près de 500 m de circonférence enserre une butte surmontée d'un tertre artificiel de 30 m d'épaisseur. Elle est revêtue d'assises de marbre admirablement taillées et ajustées provenant des veines de l'île de Thasos, située à 50 kilomètres de là. Un véritable ruban de marbre immaculé, préservé depuis 23 siècles, que l'on peut suivre intact sur 110 m sans interruption. Du jamais vu ! « *Nous l'avons retrouvé à 15 mètres de profondeur, en creusant sous les niveaux actuels d'un chemin agricole* », précise l'archéologue, qui a daté les vestiges du dernier quart du IV^e^ siècle avant J.-C.

Aidée de l'architecte Michelis Léphantzis, Katérina Péristeri a également pu établir qu'un énorme lion de pierre de 5,30 m de haut, déterré en 1915 sur la rive

KATERINA PERISTERI XVIIIE EPHORIE DES ANTIQUITÉS DE SERRES

Après 2300 ans, le mur de marbre immaculé du péribole, haut de 3 mètres, est dans un état de conservation parfait.

BETTY LAFON

Amphipolis se situait au cœur de la Macédoine, royaume d'Alexandre le Grand, qui occupait le nord de la Grèce (en rose).

A. MICHAILIDIS / AP / SIPA

Le péribole de 500 m qui ceint le tertre sacré d'Amphipolis (ici en cours de dégagement) est le plus grand jamais découvert.

K. PERISTERI

Vu du ciel, le tumulus Kastas, haut de 30 m, dresse sa masse imposante dans la plaine où était bâtie l'antique cité d'Amphipolis.

droite du Strymon – où il se trouve toujours aujourd'hui –, trônait à l'origine au sommet du tumulus. De même, plusieurs plaques de marbre récupérées dans le voisinage proviennent de l'avant-toit bordant le péribole. Seule certitude à ce jour : « *Nous sommes face à une œuvre de Dinocrate de Rhodes, l'architecte d'Alexandre* », affirme l'archéologue qui s'appuie sur les dimensions du tumulus, où l'on retrouve l'unité de mesure de base — le stade — utilisée par l'architecte grec pour la construction de l'enceinte d'Alexandrie, en Égypte. « *Le diamètre du péribole est en effet de 158,4 m, alors que les remparts de la cité fondée par Alexandre mesurent exactement 100 × 158,4 m soit 15,84 km ! Que ce soit l'œuvre de Dinocrate ou de l'un de ses élèves, ce que nous avons à Amphipolis est exceptionnel*, poursuit la chercheuse. *En Grèce, en Égypte ou ailleurs, aucun vestige des édifices réalisés par Dinocrate ne nous est parvenu.* »

Alors, qui pour être digne d'un tel symbole de puissance ? Cette découverte majeure soulève bien des attentes. « *Ils sont en train de dégoter de drôles de choses là-bas !* »,

ART HELLÉNISTIQUE

Les trésors inestimables des tombeaux macédoniens

Les sépultures de dignitaires macédoniens ont livré de nombreux objets qui figurent parmi les plus somptueux exemplaires d'art grec parvenus jusqu'à nous. En 1977, la tombe de Philippe II (359-336 avant J.-C.), père d'Alexandre, découverte sur le site d'Aïgaï près de Vergina, a ainsi fourni des armes, des parures et des ustensiles de banquet qui accompagnaient le mort dans l'autre monde. Les ossements du défunt étaient placés dans un larnax (coffre) d'or.

Cuirasse d'apparat de Philippe II, en fer orné d'or.

Couronne d'or en forme de feuilles de chêne provenant d'une tombe royale d'Aïgaï.

ÉNIGME

Où est enterré Alexandre le Grand?

Pour des raisons politiques, le corps du conquérant n'a jamais rejoint la nécropole royale de Vergina en Macédoine. Il serait toujours en Égypte.

De tous les mystères de l'Antiquité, celui-ci est peut-être le plus grand : où se trouve le tombeau d'Alexandre, ce conquérant dont l'empire s'étendait de la mer ionienne aux rives de l'Indus ? Après sa mort à l'âge de 33 ans, en 323 avant J.-C. à Babylone (actuel Irak), son corps aurait dû être transporté en Macédoine pour rejoindre la nécropole royale de Vergina. Mais pour des raisons politiques, le convoi funèbre a été détourné par Ptolémée 1er, l'un de ses généraux (et futur pharaon), pour être expédié à Memphis, en Égypte. Et c'est finalement à Alexandrie, cité qu'il avait fondée en Égypte, qu'Alexandre a été inhumé. Pompée, Auguste et César ont tous déclaré avoir visité son tombeau, deux siècles après sa mort. Et de Flavius Joseph à Suétone, les historiens romains attestent tous de l'existence de ce monument à Alexandrie. Mais toute trace en ayant été perdue après le IVe siècle de notre ère, de folles rumeurs font régulièrement état de découvertes ici ou là. Ainsi, en 1992, une archéologue grecque, Liana Souvaltzi, était convaincue d'en avoir retrouvé les vestiges dans l'oasis de Siouah, en Égypte. Il s'agissait en fait d'un cénotaphe élevé à sa mémoire. Plus récemment, le Britannique Andrew Michael Chugg a tenté de démontrer que les restes du Macédonien avaient été transportés en Italie, à Venise, où ils se trouveraient toujours...

Une chose est certaine ; à la fin du IVe siècle de notre ère, saint Jean Chrysostome, prêchant dans la cathédrale d'Antioche, interrogeait déjà dans une homélie : *« Où est, dis-moi, le tombeau d'Alexandre ? »* Preuve qu'à cette époque, on recherchait déjà son emplacement. Le monument a-t-il été détruit par des fondamentalistes chrétiens après l'édit de 380 promulguant la nouvelle religion ? Anéanti lors d'un séisme comme le littoral égyptien en a connu de nombreux ? Ou, comme cela semble plus vraisemblable, est-il enseveli sous les constructions modernes et dévorantes des six millions d'habitants de l'actuelle Alexandrie...

lance ainsi un chauffeur de taxi. À l'ombre des marronniers, entre deux parties de backgammon, les habitants du village moderne d'Amphipolis sont eux aussi persuadés qu'un secret historique est en passe d'être révélé.

La tombe de Roxane, l'épouse d'Alexandre ?

Et chacun, ici, a sa petite idée sur la question. Ne chuchote-t-on pas qu'il pourrait s'agir de la tombe de Roxane, princesse de Bactriane et veuve d'Alexandre le Grand, ensevelie là avec Alexandre IV Aigos, son fils alors âgé de 12 ans ? L'historien Diodore de Sicile (Ier siècle avant J.-C.) rapporte en effet qu'après la mort d'Alexandre, Cassandre, son successeur jaloux, aurait fait emprisonner l'épouse et le fils légitime du conquérant à Amphipolis avant de les faire étrangler en 311 av. J.-C. Une hypothèse qu'envisage sérieusement Katérina Péristeri, parmi d'autres. *« C'est toute la magie de l'archéologie »*, ajoute en souriant la chercheuse. Car il pourrait également s'agir de la sépulture d'un ou de plusieurs des généraux d'Alexandre, reve-

Masque d'or et casque de bronze sortis d'une tombe.

Larnax d'or (cercueil) de Philippe II, frappé de l'étoile de Macédoine.

Gorytos en or, carquois d'origine scythe (tombe de Philippe II).

DE AGOSTINI/LEEMAGE - HELENIC MINISTRY OF CULTURE AND TOURISM - BRIDGEMAN IMAGES

nus en Macédoine après leurs expéditions en Asie. « *Nous savons que Néarque, Androsthène et Laomédon, ses plus proches compagnons d'armes, s'étaient établis à Amphipolis* », confie-t-elle.

Mais d'autres rumeurs, plus folles, circulent. Certains médias grecs n'ont ainsi pas hésité à évoquer le nom même d'Alexandre, car le tombeau du conquérant n'a jamais été retrouvé *(lire l'encadré)*. Des spéculations que le ministère grec de la Culture – qui suit de très près ces recherches – s'efforce régulièrement d'enrayer. En vain. Sur le site surveillé nuit et jour pour le protéger des curieux, Katérina Péristeri et son équipe travaillent au dégagement de l'époustouflant mur de marbre dissimulé à la vue par d'énormes bâches noires. « *Nous allons forcément en retrouver l'entrée sous les 30 mètres de sédiments qu'il nous reste à retirer*, affirme-t-elle, confiante. *Un dromos* [une allée] *devait en permettre l'accès, comme dans tous les tombeaux macédoniens.* » Le tombeau d'Amphipolis devrait aussi comporter plusieurs chambres. S'il n'a pas été profané, il devrait livrer des objets d'une richesse inouïe, à l'instar de ceux retrouvés dans la sépulture de Philippe II *(voir ci-dessus)*. Des témoignages d'autant plus précieux que, précise Katérina Péristeri, « *ailleurs en Grèce, les plus beaux objets étaient offerts à des divinités dans leurs sanctuaires et ont totalement disparu* ».

SAKIS MITROLIDIS/AFP

K. PERISTERI

Un lion de marbre haut de 5 m 30, retrouvé sur les rives du Strymon tout proche en 1915, ornait à l'origine le sommet du tumulus, comme le montre la reconstitution ci-dessus.

Les seules peintures grecques qui nous restent

Y trouvera-t-on aussi de somptueuses peintures murales, comme celles de 5 mètres de haut qui ornaient la tombe du père d'Alexandre ? « *Les tombeaux macédoniens abritent les seules peintures grecques parvenues jusqu'à nous. C'est grâce à elles que nous connaissons cet aspect de l'art hellène* », rappelle Katérina Péristeri. Ce que confirme Sophie Descamps : « *Les tombes macédoniennes sont les conservatoires de la peinture antique. Il suffit de visiter les musées de Thessalonique et de Vergina pour s'en convaincre.* » Ainsi, Amphipolis, détruite par des raids slaves aux alentours du IXe siècle et oubliée pendant des siècles, pourrait de nouveau faire parler d'elle de façon éclatante. Le gouvernement grec en est d'ailleurs pleinement conscient. Malgré les difficultés économiques que le pays traverse, il vient d'accorder 100 000 € pour poursuivre les recherches. ■

Jean-Claude Golvin, architecte, archéologue

Il recrée des mondes perdus

Ce chercheur du CNRS fait revivre à l'aquarelle des sites antiques, après une minutieuse collecte de données auprès des archéologues.

« TOUS LES CHEMINS MÈNENT À ROME... *mais heureusement, avec de nombreux détours.* » Cette dédicace dit beaucoup de l'homme que l'on a en face de soi. Avec sa barbe bien taillée, ses lunettes à monture métallique, on s'attendrait à rencontrer un scientifique version rat de bibliothèque, furetant dans les traités d'architecture de Vitruve ou d'Apollodore de Damas pour retrouver, à deux mille ans de distance, les secrets de fabrication de la tuile romaine ou l'arrondi précis d'une arche. Mais aux intonations chantantes de son filet de voix, à l'étincelle dans son œil rieur, on sent aussitôt que son esprit prend des chemins de traverse. Loin, très loin, quelque part entre les rives du Tibre, à Rome, les jardins de la villa de Tibère, à Capri, ou les temples de Karnak, en Égypte. Et son enthousiasme à évoquer ces sites fait naître des fourmis dans les jambes, comme une envie de parcourir avec lui les rues de Babylone qu'il connaît comme sa poche. Car Jean-Claude Golvin a un secret : il ouvre les portes du temps. Ses aquarelles sont le sésame.

Gommes, crayons à pointe fine, équerres, doubles décimètres... Dans son atelier, près d'Aix-en-Provence, Jean-Claude Golvin passe des journées entières courbé sur sa planche à dessin. Car cet architecte DPLG n'a qu'un seul but depuis quatre décennies : faire renaître les mondes perdus, pierre par pierre, brins d'herbe, arbres et cailloux compris. Mais pas question de laisser libre cours à l'imagination ! « *Je suis le seul à avoir fait de la restitution un axe de travail, ce qu'il ne faut pas confondre avec l'illustration. La restitution répond à une méthode* », explique-t-il, reconnaissant avoir eu un peu de mal à imposer ses aquarelles comme des outils scientifiques. « *Cela n'a pas toujours été facile pour lui*, confirme Alain Charron, conservateur en chef au Musée départemental Arles antique. *À la fin des années 1980, avant l'arrivée du numérique, il y avait des préjugés contre l'image. Mais ce débat est dépassé. Il a un œil. La qualité de son travail s'est imposée.* »

LIVIA SAAVEDRA POUR SCIENCES ET AVENIR

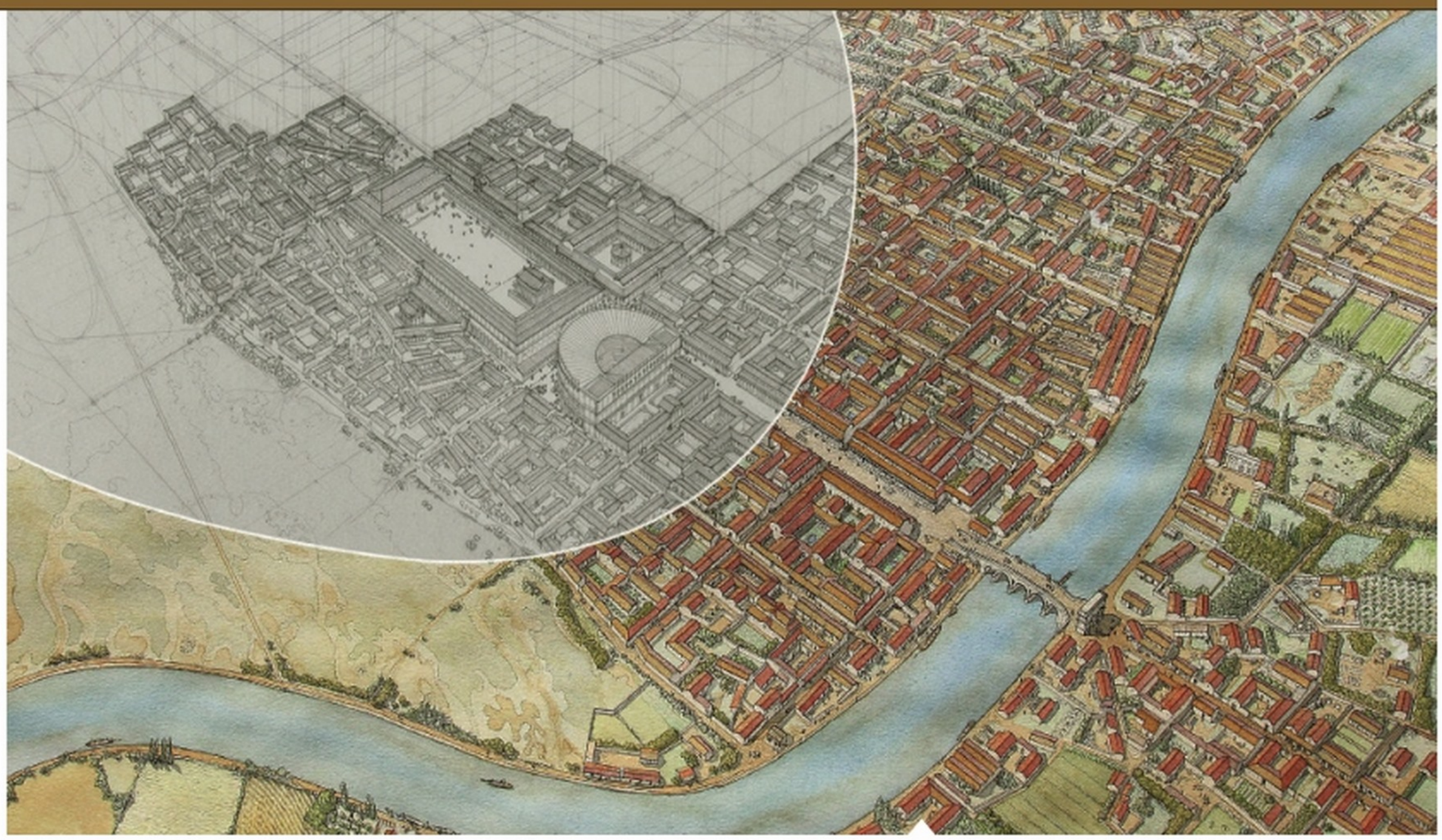
Des heures de recherches, de croquis, d'ébauches...

Un travail qui commence par une longue collecte de plans et de documents, obtenus auprès des nombreux archéologues ou institutions qui font appel à son savoir-faire. « *Je ne me lance jamais si je ne dispose pas du matériel nécessaire, même parcellaire. Mais il faut aussi une vraie connaissance de la période ou du site concernés pour compléter les parties manquantes en restant dans le vraisemblable. Je discute et lis énormément, pour comprendre non seulement les techniques mais aussi les mentalités.* » S'ensuivent des heures de travail, de croquis techniques, d'ébauches, d'allers et retours, avant de réaliser l'œuvre finale. « *Outre son sens de l'humour, sa rigueur, son humilité et surtout son honnêteté intellectuelle sont ses grandes qualités. Il se tient à l'écoute des travaux de ses collègues. C'est la marque d'un grand scientifique* », affirme Romain Pigeaud, son éditeur chez Errance.

Rien ne prédisposait l'enfant de Sfax, en Tunisie, né un jour de 1942 sous une pluie de bombes, à

BIO EXPRESS

1942 Naissance à Sfax (Tunisie).
1969 Architecte DPLG.
1985 Directeur de recherche au CNRS. Doctorat d'État.
1979-1990 Directeur du Centre franco-égyptien d'étude et de restauration des temples de Karnak et de la Mission permanente du CNRS.
1992-2008 Directeur de recherche au CNRS auprès de l'Institut Ausonius (UMR 5607), université Bordeaux-III.
2011 Fait don de l'ensemble de son fonds au musée départemental Arles antique.



ATELIER DU PATRIMOINE DE SAINTONGE, VILLE DE SAINTES, J.-C. GOLVIN, L. MAURIN, J.-P. BAIGL, B. MARATIER

La ville gallo-romaine de Saintes (Charente-Maritime) « restituée » puis mise en couleur par les pinceaux de Jean-Claude Golvin, selon une méthode rigoureuse qui fait de cette aquarelle un véritable outil scientifique (photomontage).

cette carrière atypique. « *Je voulais faire de la BD !* », avoue-t-il. Mais son goût pour l'histoire et un père reconnu pour ses études pionnières sur le patrimoine du Maghreb ont fait dévier la belle trajectoire. « *Il m'a inculqué le refus de la facilité. Grâce à lui, j'ai pu exploiter autre chose que mon point fort.* » Ses premiers travaux d'architecte lui offrent l'opportunité d'accompagner des missions archéologiques, notamment à El-Jem, en Tunisie, avant d'intégrer le CNRS où, après une thèse sur les amphithéâtres, il prend la direction du Centre franco-égyptien d'étude et de restauration des temples de Karnak.

C'est durant ces années de terrain qu'il peaufine sa méthode, soutenu par son épouse artiste peintre. « *L'apparition de l'informatique m'a beaucoup aidé car la demande d'images a explosé. J'ai participé à la première reconstitution de Karnak en 3D et j'ai toujours encouragé ces développements, complémentaires de mes restitutions qui sont plus adaptées pour dire l'essentiel en un seul coup d'œil. Avec elles, je suis dans un discours qu'il faut adapter en fonction du public moderne à qui il est destiné.* » Qu'il s'adresse aux spécialistes ou aux amateurs, Jean-Claude Golvin sait que la première impression doit être frappante pour que le spectateur ait l'impression d'avoir réellement les lieux sous les yeux, pour promener ensuite son regard de ruelle en ruelle, sur les quais, dans les jardins ou les villas... Ce qui contraint à une extrême minutie. « *C'est un chercheur doublé d'un grand artiste* », affirme Romain Pigeaud. « *Je ne dois jamais me lasser, respecter l'échelle, les effets de perspective : dès que j'ai fait 4 centimètres carrés de tuiles, je passe à autre chose, avant d'y revenir...* » L'attention portée aux détails est souvent riche d'enseignements : « *On réalise les intentions des architectes antiques. Ainsi, à l'époque d'Auguste, on perçoit nettement le travail de formatage de l'opinion au profit de l'idéologie impériale.* » Plus d'un millier de restitutions ont vu le jour sous ses pinceaux, dont il a fait don au musée départemental Arles antique. « *C'est un cadeau inestimable*, s'enthousiasme le conservateur en chef Alain Charron. *Nous en avons exposé une partie en 2011, avec succès. Nous en poursuivons l'inventaire et aimerions proposer un nouveau projet en 2015.* »

De son côté, Jean-Claude Golvin fourmille d'idées. Outre un livre sur Hérode à paraître en octobre chez Actes Sud*, il souhaite se mettre — enfin ! — à la BD. « *Mais ce sera une BD pionnière, avec une nouvelle forme d'expression pour pénétrer l'imaginaire des personnages !* » Un petit chemin de traverse, encore. ■ **Carole Chatelain**

**Hérode, le roi architecte*, textes de Jean-Michel Roddaz, Errance.

« Il se tient à l'écoute des travaux de ses collègues. C'est la marque d'un grand scientifique »

Romain Pigeaud, directeur éditorial chez Errance (Actes Sud)

F. NASCIMBENI / AFP

La zone des fouilles a été équipée de plates-formes suspendues afin de permettre aux archéologues de l'Inrap de travailler sans risquer d'endommager les vestiges les plus fragiles.

D. GLIKSMAN / INRAP

Sous le pinceau d'un chercheur apparaît un torque (collier gaulois) en tôle d'or.

Un guerrier gaulois inhumé sur son char

La tombe d'un personnage de haute lignée, enterré avec ses chevaux, a été mise au jour dans les Ardennes. Une découverte exceptionnelle.

DES CHEVAUX, DES FEUILLES D'OR, DES DÉPÔTS D'OFFRANDES... « *Nous ne nous attendions pas à une telle découverte* », assure Bertrand Roseau, responsable de la Cellule départementale d'archéologie des Ardennes, encore émerveillé. En ce début juillet, après plusieurs semaines de travaux minutieux menés en coordination avec une équipe de l'Inrap (Institut national de recherches archéologiques préventives), les archéologues ardennais ont terminé la fouille d'une exceptionnelle « tombe à char » mise au jour dans la plaine de Warcq, tout près de Charleville-Mézières. Ce mode d'inhumation, pratiqué dans le monde celtique, était réservé aux personnages de haute lignée : la dépouille, sans doute celle d'un aristocrate gaulois donc, était enterrée avec des chevaux, allongée sur un char de guerre ou d'apparat. Un torque (collier rigide) en tôle d'or enroulée sur une trame de cuir ou de bois enserrait toujours le cou du défunt enseveli entre 150 et 100 avant J.-C., durant la période dite du second âge du fer ou de La Tène D. « *En Gaule, depuis le V^e siècle avant notre ère, les sépultures de ce type étaient concentrées dans la Champagne actuelle, en particulier la région de Châlons. Mais celle-ci, située plus au nord, est l'une des plus extraordinaires jamais rencontrées. Ce type d'inhumation a disparu à l'arrivée des Romains, au I^er siècle avant J.-C.* », poursuit Laurent Olivier, conservateur du Département d'archéologie celtique et gauloise du Musée d'archéologie nationale de Saint-Germain-en-Laye.

BETTY LAFON

MATHIEU APPRIOU / ARCHÉA

Reconstitution d'une tombe similaire située à Roissy-en-France.

« *Toutes ces trouvailles sont d'autant plus étonnantes qu'à l'origine, nous pensions travailler sur une villa gallo-romaine* », se souvient Bertrand Roseau. Les archéologues avaient en effet été appelés dès octobre 2013 à la suite de la découverte de vestiges sur le chantier de

D. GLIKSMAN / INRAP

Ces pièces de bronze ont été dégagées sur les ossements d'un des équidés inhumés dans la fosse. Il s'agit sans doute de phalères, des parures métalliques qui ornaient le harnachement des chevaux.

l'autoroute A304, destinée à relier Charleville-Mézières à Rocroi. *« C'est en dégageant un bâtiment effondré que nous sommes tombés sur cette structure insoupçonnée »*, poursuit le chercheur. À l'apparition de plusieurs dents d'équidés, le travail d'une pelle mécanique avait été stoppé pour permettre aux archéologues de passer à l'action. À 80 centimètres de profondeur, sous leur pinceau délicat, avait alors commencé à affleurer une structure rectangulaire de 5,50 m sur 2,80 m, identifiée aussitôt comme le plafond d'une chambre funéraire. Et c'est une fois les bardages de ce coffrage de bois retirés que les éléments d'une somptueuse tombe à char ont surgi au fil des jours : un crâne de cheval, des éléments métalliques, des bandages de roue en fer, des restes de moyeux en bronze… et les premières traces d'or ! *« Nous avons eu du mal à contenir notre joie à la vue de ces feuilles d'or »*, reconnaît Bertrand Roseau. Toutefois, travaillant au niveau de la nappe phréatique, et donc d'un sédiment boueux, les archéologues ont été contraints d'interrompre temporairement leurs recherches avant l'arrivée de l'hiver, pour ne les reprendre que cet été. Un temps mis à profit pour fabriquer des plates-formes à crémaillère destinées à être suspendues au-dessus des fragiles reliques et permettre ainsi aux chercheurs de travailler sans risque d'abîmer le site. *« Depuis la reprise des fouilles, début juin, chaque jour s'est transformé en miracle »*, explique Bertrand Roseau. Quatre petits chevaux gaulois (1,20 m au garrot) sont ainsi apparus. Deux au nord-ouest et sud-ouest de la chambre funéraire ; deux autres à l'est. Sans doute sacrifiés par strangulation, les équidés, non attelés, avaient été placés à l'avant du char, sous un joug enjolivé de bronze. Du côté du timon, les chercheurs ont retrouvé ce qui pourrait être des phalères, des parures métalliques circulaires ornant le harnachement des chevaux. Le char, comportant deux roues, présente certains composants d'habillage en bronze sertis de pâte de verre colorée rouge, jaune ou bleu. Du jamais vu ! *« Nous avons aussi exhumé des éléments en bois décorés de feuilles d'or, que nous n'avons pas pu identifier pour l'instant »*, ajoute Bertrand Roseau. Quant au mort, un homme mesurant 1,70 m dont le squelette est mal conservé, il était déposé directement sur la caisse du char conformément à la tradition celtique. *« Il appartenait probablement à la tribu des Rèmes, le plus important peuple vivant sur ce territoire à l'époque »*, précise le spécialiste.

Un fourreau d'épée pliée accompagnait le défunt

Les bras du guerrier étaient ornés de perles de verre bleu, et une fibule en fer, retrouvée à hauteur du bassin, devait maintenir un vêtement aujourd'hui disparu. Un fourreau d'épée plié reposait auprès du corps selon un usage fréquent dans le nord de l'Italie, mais peu attesté en Gaule. L'arme ainsi transformée, inutilisable pour les vivants, pouvait accompagner le défunt dans l'au-delà. Une paire de forces (ciseaux) et une lame en fer, vraisemblablement un rasoir, ont aussi été retrouvées, ainsi que trois vases en céramique, l'un d'eux étant décoré de figures géométriques d'un type inconnu. Un porc entier avait été déposé comme offrande alimentaire, non loin de deux seaux en bois dont ne restent que les cerclages de fer. Ces vestiges uniques ont pour l'instant été entreposés dans plusieurs laboratoires pour y être restaurés et étudiés. Des opérations qui pourraient prendre deux ans. ■ **Bernadette Arnaud**

PEUPLES DES STEPPES

Un tumulus dans le Caucase

La découverte récente d'une autre tombe à char, dans le Caucase du Sud, sur les berges de la rivière Alazani, en Géorgie orientale, a été présentée en février dernier lors d'un colloque qui s'est tenu au Collège de France, à Paris. Datée du bronze ancien (seconde moitié du IIIe millénaire), la sépulture renfermait les débris de deux chars en bois à quatre roues. D'après son découvreur, Zurab Makharadze, directeur du Centre d'archéologie du Musée national de Géorgie, ces vestiges se trouvaient au sein du kourgane 3 d'Ananauri, un tertre de douze mètres de haut. Les restes de sept autres individus ont été recensés, selon les rites funéraires des peuples de la steppe qui voulaient que le défunt quitte le monde des vivants accompagné de personnes sacrifiées. Des offrandes sous forme de pointes de flèches, des bijoux en pierres semi-précieuses, ainsi que de l'ambre, des récipients d'argile, un surprenant fauteuil et vingt-trois objets d'or ont aussi été exhumés. B. A.

Homme de Flores : trisomique ou espèce à part entière ?

Le débat fait à nouveau rage sur l'identité du petit hominidé découvert il y a dix ans sur l'île indonésienne de Flores.

Les mensurations minuscules de l'homme préhistorique de Flores, vieux de 18 000 ans, divisent à nouveau les chercheurs. Des Australiens et des Américains avancent aujourd'hui que le petit fossile exhumé en Indonésie en 2004 était un homme moderne atteint de trisomie 21 et non un *Homo* d'une espèce plus archaïque. Leur analyse, publiée dans la revue américaine *Pnas*, ravive une guerre décennale entre anthropologues. Car depuis sa découverte, le « *hobbit* » ne cesse de valser dans notre généalogie et nos imaginaires. D'abord, il est célébré comme une nouvelle espèce humaine et baptisé *Homo floresiensis* (*lire* S. et A. n° 694, décembre 2004) à partir notamment du squelette n° 1 de la grotte de Liang Bua (LB1) *(voir ci-contre)* au crâne bien conservé. Ses découvreurs le décrivent alors comme un contemporain « lilliputien » de Neandertal et de *Homo sapiens*, ayant vécu entre -95 000 ans et -13 000 ans sur une petite île volcanique peuplée de rats géants, d'éléphants nains et de dragons de Komodo.

Son cerveau et sa stature auraient été sous-estimés

En dépit d'un cerveau gros comme un pamplemousse, il maîtrisait le feu et les outils. Les cryptozoologues jubilent : cela donne du poids aux légendes locales sur des hommes préhistoriques cachés. Puis, les choses se gâtent. Dès 2005, quelques chercheurs doutent de son originalité et s'interrogent : et s'il s'agissait d'un homme moderne mais atteint d'une maladie déformant son squelette ? C'est ainsi que l'homme de Flores a, tour à tour, été décrit comme un microcéphale (souffrant d'une anomalie de croissance du cerveau), un « crétin des Alpes » (carencé en iode) ou un nain atteint du syndrome de Laron (avec récepteurs dysfonctionnels de l'hormone de croissance). Finalement, il serait trisomique, affirment aujourd'hui Maciej Henneberg, de l'université d'Adelaide (Australie) et Robert Eckhardt, de l'université d'État de Pennsylvanie (États-Unis). La taille et le volume du cerveau, déduits à partir d'ossements incomplets, auraient été sous-estimés : LB1 mesurait en fait 1,26 m et avait une capacité crânienne de 430 cm³. « *C'est important, car cela situe la taille du cerveau au niveau de celle d'humains modernes trisomiques vivant dans la même région, c'est-à-dire dans les îles Andaman, Palau et Flores* », explique Robert Eckhardt, professeur de génétique du développement. D'autres traits seraient des « anomalies » typiques du mongolisme *(lire ci-contre)*. Dans l'autre camp, on enrage : « *Nous avons réfuté chacun des arguments précédents de cette même équipe sur le syndrome de Laron ou la microcéphalie, nous ferons de même sur la trisomie 21* », assure l'anthropologue Dean Falk, de l'université

STEPHEN HIRD/REUTERS

De nouveaux calculs sur le volume de la boîte crânienne d'« Homo floresiensis » (ici modelage conservé au British Museum de Londres) lui attribuent une contenance supérieure de 16 % à celle calculée auparavant.

ANATOMIE

Le corps de la controverse

Pour certains chercheurs, l'homme de Flores est un homme moderne atteint d'une maladie déformant le squelette. Pour d'autres il s'agit d'une espèce différente, un hominidé ancien ayant évolué vers le nanisme insulaire. Revue des arguments.

HOMO SAPIENS TRISOMIQUE OU HANDICAPÉ

▶ **Le volume du crâne** serait de 430 cm³, compatible avec celui des trisomiques australo-mélanésiens. C'est aussi la moyenne des cerveaux microcéphales. Ou le signe d'un crétinisme.

▶ **L'asymétrie crâno-faciale et la brachycéphalie** (malformation due à une soudure précoce) seraient typiques de la trisomie 21. D'autres voient sur le crâne une fossette pituitaire caractéristique des « crétins des Alpes » (dont il porterait également des prémolaires caractéristiques).

▶ **Le fémur court,** proportionnellement plus petit que le reste du corps chez les trisomiques, expliquerait l'erreur première d'estimation de la taille de l'homme de Flores. Il mesurerait 1,26 m.

▶ **Les pieds plats** seraient symptomatiques de la trisomie 21.

HOMO FLORESIENSIS, ESPÈCE À PART

▶ **L'endocrâne indique une capacité crânienne de 380 cm³.** La forte circonvolution des lobes frontaux signe l'aptitude à des processus cognitifs avancés. Les lobes temporaux et frontaux évoquent ceux de *Homo erectus*.

▶ **La taille des dents et la morphologie faciale** dictent l'inclusion de cette espèce dans le genre *Homo*, mais la stature et les proportions du corps sont similaires à celles des *Australopithecus*.

▶ **Les membres supérieurs archaïques,** assez longs, évoquent ceux des australopithèques.

▶ **Trois os du poignet** ont une morphologie primitive, proche de celle des chimpanzés et des premiers hominidés.

▶ **Les proportions graciles du squelette** de 1,06 m suggèrent qu'il a subi un nanisme insulaire comme d'autres mammifères (éléphants, antilopes) avant lui.

COURTESY OF WILLIAM JUNGERS, STONY BROOK UNIVERSITY

d'État de Floride. « *Ils n'ont pas eu les pièces en main et ont confondu des déformations liées au temps et au sol avec des malformations* », assène le paléoanthropologue Peter Brown, de l'université de Nouvelle-Angleterre, en Australie. Ils étaient nains peut-être, mais pas crétins au point de ne pas savoir chasser, faire du feu et utiliser des outils, insistent ces chercheurs.

Le débat évoque celui sur Neandertal au XIXe siècle

Par ailleurs, comment une lignée de trisomiques ou de handicapés aurait-elle pu s'installer sur plusieurs dizaines de milliers d'années ? Neuf individus de petite taille âgés de 13 000 à 95 000 ans ont été exhumés, preuve selon eux qu'il ne s'agit pas d'une aberration individuelle ou d'un cas pathologique. « *Les autres étaient petits mais seul LB1 était trisomique et s'il a survécu c'est grâce à la compassion et la solidarité, notre marqueur humain,* rétorque Robert Eckhardt. Pour lui, l'homme de Flores présentait des caractéristiques rares, mais pas uniques, et pas au point de l'exclure de notre humanité moderne.

Ce sont deux conceptions qui s'affrontent. « *Le débat évoque celui qui avait suivi la découverte de Neandertal, au XIXe siècle, qualifié dans un premier temps de "dégénéré" jusqu'à ce que l'on en retrouve par dizaines* », observe Chris Stringer, du Muséum d'histoire naturelle de Londres. « *On a déjà retrouvé à Flores une seconde mandibule primitive sans menton qui évoque les hommes fossiles âgés d'au moins deux millions d'années. Mais c'est maigre.* » Pour enterrer la hache de guerre, il faudra déterrer d'autres crânes. ■

Rachel Mulot

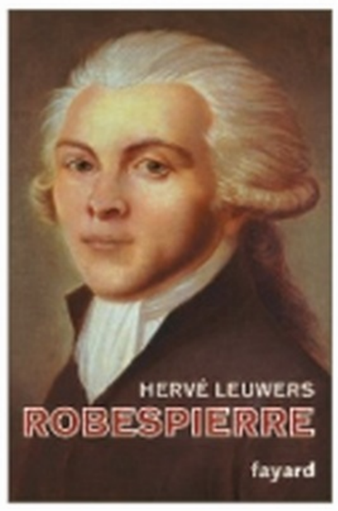
POUR EN SAVOIR PLUS

Vidéo en anglais
▶ http://sciav.fr/1tiBhF5

Livres/DVD

Histoire

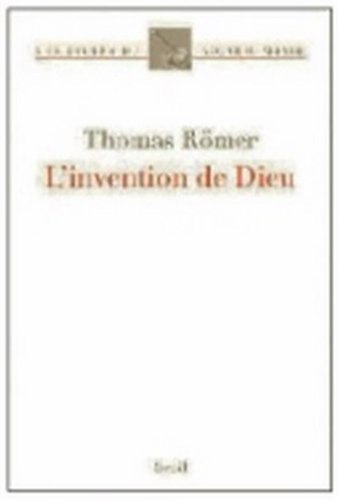
Robespierre



Hervé Leuwers, Fayard, 400 p., 25 €

Vu par les uns comme le premier responsable de la Terreur ; par les autres, comme la *« Révolution incarnée »*, un pur démocrate ami du peuple, injustement calomnié, Robespierre divise toujours. C'est pourtant à sa redécouverte que nous convie l'historien Hervé Leuwers, spécialiste de la Révolution française. Dépassant les polémiques, s'appuyant pour la première fois sur des manuscrits récemment acquis par les Archives nationales (2011), ainsi que sur de précieux inédits débusqués dans des collections privées, cette biographie invite à une interprétation plus nuancée des multiples visages de l'Incorruptible, en brossant le portrait d'un homme du XVIII[e] siècle aux différents âges de la vie. Une enquête réalisée à travers des témoignages contemporains *« favorables ou hostiles »*, de manière à interroger l'étrange diversité des regards portés sur le personnage dès l'époque. Sans vouloir ni défendre, ni accuser, ce livre se place au-delà des mythes en vigueur sur un homme hors du commun. ■ **B. A.**

L'Invention de Dieu



Thomas Römer
Seuil, 332 p., 23 €

Comment un dieu parmi les autres est-il devenu Dieu ? Telle est l'énigme centrale développée dans cet ouvrage par le spécialiste des sciences des religions Thomas Römer, professeur au Collège de France et à l'université de Lausanne. *« Dans le paysage religieux de l'humanité, le judaïsme est considéré comme la plus ancienne religion monothéiste, confessant qu'il n'existe qu'un seul dieu qui est à la fois le dieu spécifique du peuple d'Israël et le dieu de tout l'univers. Cette idée d'un dieu unique s'est ensuite propagée dans le christianisme et l'islam »*, écrit-il. Ainsi, ce dieu propre aux trois religions monothéistes semble avoir toujours été là. Mais des textes anciens citent l'existence d'autres dieux en même temps que Yahvé. Pour l'auteur, il ne fait aucun doute que le dieu de la Bible n'a pas été seul au départ. L'éminent spécialiste des *« milieux bibliques »* nous fait ainsi découvrir *« les traces de la pluralité de divinités qui existait au Levant, indiquant que Yahvé n'était pas le seul dieu à être vénéré par les Israélites »*. Un dieu apparu entre Égypte et Néguev, et qui lié, à l'origine, à la guerre et à l'orage, deviendra par la suite le Dieu unique, *« indivisible et transcendant »*. ■ **B. A.**

BD

MADAME LIVINGSTONE

Christophe Cassiau-Haurie, Barly Baruti, Glénat, 128 p., 22,50 €

Centenaire oblige, les bacs des libraires débordent d'ouvrages consacrés à « la der des ders ». La bande dessinée n'est pas en reste. Graphiquement, Madame Livingstone se détache du lot par de très belles planches réalisées en partie à l'aquarelle. Une technique idéale pour rendre les grands voiles pastel qui habillent les cieux africains. L'histoire, située au Congo belge, relate l'épopée vécue par un aviateur belge et un guide métis qui se prétend le fils de l'explorateur David Livingstone. ■ **H. R.**

DVD

39-45 DE LA FRANCE OCCUPÉE À LA FRANCE LIBÉRÉE

Coffret 4 DVD France TV Distribution, 6 h 10 min, 39,99 €

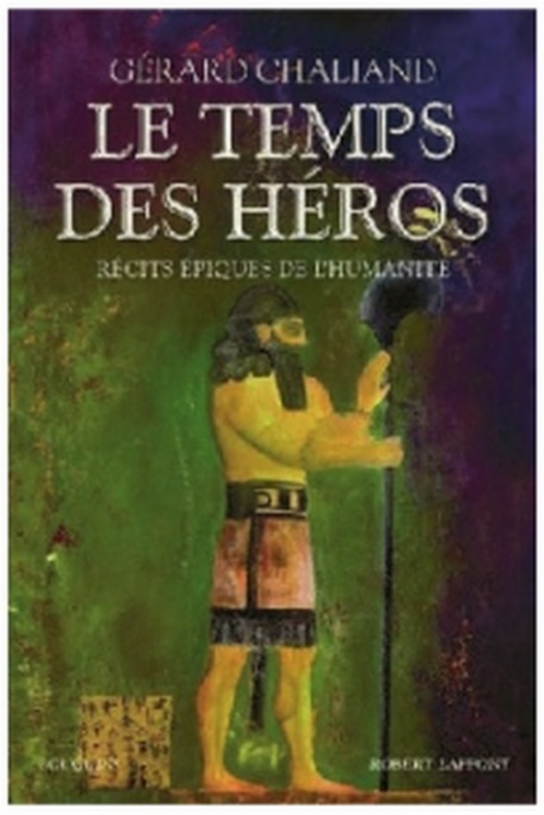
Chacun des 4 films couvre une dimension de la guerre en France, bien connue (la libération de Paris, la collaboration) ou beaucoup moins, telles l'histoire des commandos français du débarquement et celle, terrible, des bombardements alliés sur les villes françaises. Un peu de colorisation ou de docu-fiction pas très utiles ici et là, mais les commentaires sont efficaces, précis et parfois ironiques. ■ **A. D.**

BD

MADAME DE NEANDERTAL,

Pascale Leroy et Marylène Pathou-Mathis, Nil, 264 p., 19 €

Une néandertalienne délurée relate la rencontre de sa tribu avec celle des *Homo sapiens*. Son journal intime, gouailleur mais scientifiquement inspiré, a été imaginé par une éditrice et une préhistorienne du CNRS. On se régale avec la scène de l'invention des mèches crêpées-frottées-collées, ancêtres des *dreadlocks*. ■ **R. M.**



Gérard Chaliand, Robert Laffont, 882 p., 29 €

Le Temps des héros

Pour la rentrée, vous allez pouvoir réviser vos classiques... Gérard Chaliand, plus connu pour ses ouvrages sur l'histoire des conflits ou la géostratégie, a en effet regroupé dans *Le Temps des héros* plusieurs longs extraits des principaux textes fondamentaux de la littérature épique universelle. Une compilation de chefs-d'œuvre qui donne à redécouvrir les récits sur Gilgamesh (Mésopotamie, II[e] millénaire avant notre ère), *L'Illiade* et *L'Odyssée* d'Homère (VIII[e] siècle avant J.-C.), ou encore *L'Énéide* de Virgile, les chants du *Mahabharata* des Indiens, *Le Livre des Rois* des Persans ou *L'Histoire secrète des Mongols*. Ce recueil inclut aussi des textes moins connus en Occident, comme le roman *Au bord de l'eau* ou *Les Trois Royaumes*, œuvres fondatrices de la littérature chinoise. D'autres récits, venus de l'espace précolombien ou du continent africain, complètent ce tour du monde des valeurs et vertus qui étaient celles du « temps des héros » : *« la volonté, le courage, le goût du risque et l'action »*... ■

Bernadette Arnaud

Et si mon secret beauté était le balnéomassage...
Delphine Wespiser,
Miss élue par tous les français en 2012.
Maquillage : Arnaud Sol Dourdin Photographe : Pierre-Emmanuel Rastoin. Agence de création : hyproz
Comme notre "Miss Bien-Être", découvrez les effets relaxants et tonifiants
d'une séance de balnéomassage en choisissant, parmi les 10 systèmes de massage
et 29 baignoires, la formule la mieux adaptée à vos envies et à vos besoins.
GRANDFORM
CRÉATEUR DE BIEN-ÊTRE
WespiserD
Grandform
Pour un renseignement N° Vert 0 800 05 15 25
Numéro gratuit
8 rue d'Aboukir - 75002 Paris / www.grandform.fr
Fabrication Française

Déménagement forcé pour le conservatoire de la vigne

Menacée par la montée de la Méditerranée, la collection de cépages de l'Inra, la plus grande du monde, doit quitter l'Hérault. Un défi sans précédent.

Par Loïc Chauveau

Au bout d'une impasse sablonneuse, le domaine de Vassal, signalé par un modeste clocheton, ne paie pas de mine. Ces quelques bâtisses agricoles, hangars à tracteurs et serres gérés par une dizaine de salariés constituent pourtant un site d'importance mondiale, en passe de vivre un événement incroyable. La plus grande collection de vignes de la planète va... déménager ! Et ce déplacement de plus de 7 000 variétés de *Vitis vinifera*, réparties sur 27 hectares, est aussi une première par ses causes. C'est la montée du niveau des mers qui oblige l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), propriétaire des ceps, à entamer une migration qui va durer six ans et coûter près de 4 millions d'euros.

Situé à Marseillan, tout au bout du lido de Sète (Hérault), Vassal est en première ligne pour essuyer l'assaut des mers — en l'occurrence la Méditerranée —, dont on estime que le niveau sera supérieur de près d'un mètre à la fin du siècle *(lire* S. et A. *n° 810)* : *« Depuis les années 1960, le lido a reculé de 100 mètres sur toute sa longueur*, explique Blaise Genna, directeur du conservatoire. *La Méditerranée est désormais à quelques dizaines de mètres des portes du domaine. »* En 2010, la route qui passait entre la plage et les premiers ceps de vigne a même dû être déplacée de 300 mètres, vers l'autre côté du domaine jouxtant l'étang de Thau. *« Nous devons anticiper la salinisation de ces terres, qui va inéluctablement se produire dans les prochaines décennies »*, poursuit Blaise Genna. Un déplacement d'autant moins évitable que le domaine fait face à une autre difficulté, d'ordre financier cette fois. L'Inra s'oppose en effet au propriétaire des terres, le producteur de vin Listel. *« Nous sommes en procès car le coût de notre loyer va fortement augmenter*, déplore Christian Huyghe, directeur scientifique adjoint pour l'agriculture à l'Inra. *Cette situation nous donne l'opportunité de prendre un nouveau départ. »*

VRANKEN - POMMERY

À Marseillan, seul un fragile cordon sableux sépare désormais les vignes de la mer. Le déménagement à Gruissan est inéluctable.

BETTY LAFON

Un lieu de refuge idéal contre le phylloxéra

Une anticipation stratégique s'agissant d'un patrimoine de cette ampleur. Depuis 1949, sur ces terres sableuses, l'Inra recueille en effet tous les spécimens de vignes cultivées dans le monde : plants sauvages récoltés dans la nature, vignes hybrides créées et sélectionnées par l'homme, porte-greffes permettant de résister au phylloxéra, ainsi que les dernières variétés créées par l'Inra. Entre deux haies de cannes de Provence protégeant les plantes du vent, les variétés s'alignent en pleine terre, chacune étant représentée par cinq ceps. Une incroyable richesse de formes et de couleurs, sur laquelle se penche la communauté internationale des ampélographes. Ces spécialistes de la description du bourgeonnement

P.GUYOT/AFP

En vue du déménagement, les ceps clonés vont passer deux années sous serre, dans des conditions optimales de lumière et d'irrigation.

La collection ampélographique compte plus de 7 000 variétés de vignes : raisins de table, de cuve (pour le vin), hybrides, porte-greffes ou espèces sauvages... Elle a permis de sauver des cépages anciens comme l'oeillade, le prunelard, le verdanel ou le chabus.

de la vigne – de la feuille adulte à la fleur et la grappe –, une vingtaine dans le monde, sont réclamés dans tous les vignobles du globe. Il n'y a qu'à Vassal qu'ils trouvent les spécimens vivants à étudier sur pied, mais aussi les herbiers, photos et ouvrages anciens accumulés par les générations précédentes d'agronomes. Ils en poursuivent l'œuvre, avec pour objectif de tendre à l'exhaustivité : « *La collection a été créée en 1876 à Montpellier, en réponse à la crise du phylloxéra qui ravageait les vignes françaises depuis 1864* », rappelle Blaise Genna. À l'époque, l'ensemble du vignoble est en effet atteint par la maladie mortelle. Après la Seconde Guerre mondiale, la collection croissant, le domaine de Vassal fait figure de lieu de refuge idéal. Le sable permet en effet de planter les ceps « francs de pied », c'est-à-dire sans les porte-greffes américains résistants à l'insecte responsable de la maladie. Le phylloxéra ne s'y propage pas, les homoptères ne pouvant y creuser leurs galeries pour ▸

AMPÉLOGIE

À la recherche de la vigne d'origine

Reste-t-il dans la nature des reliquats de vignes « sauvages », avant la domestication par l'homme ? « *Beaucoup de spécialistes pensaient que celles-ci avaient disparu du fait du phylloxéra*, se souvient Thierry Lacombe, ampélographe à l'Inra Montpellier. *Nous avons voulu en avoir le cœur net et avons commencé en 1999 une minutieuse et vaste enquête auprès des techniciens agricoles et des botanistes des parcs naturels partout en France.* » Quinze ans plus tard, les résultats sont en cours de dépouillement et devraient être publiés d'ici à deux ans. Une décennie nécessaire pour repérer cette plante devenue extrêmement rare : « *Nous avons ainsi recensé moins de 500 pieds de* Vitis vinifera *sous-espèce* sylvestris, *la variété "d'avant l'homme"*, poursuit Thierry Lacombe. *Ces lambrusques* [vignes sauvages] *se retrouvent par petites populations d'une quinzaine de pieds le long du piémont pyrénéen, sur les contreforts des Causses languedociens, dans le Jura, en Champagne et… à Fontainebleau.* » Ces reliques, désormais ultra-protégées par la loi française et les recommandations de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), s'épanouissent sur des lisières de forêts, dans des zones reculées très humides, ce qui a permis à l'espèce d'éviter le phylloxéra. Les spécimens les plus intéressants ont rejoint le domaine de Vassal, qui en compte à ce jour 324. Leur patrimoine génétique pourrait receler d'intéressants gènes de résistance aux maladies de la vigne cultivée.

INRA

Une lambrusque repérée dans un fouillis végétal.

atteindre les racines des souches. La montée des océans contraint donc aujourd'hui les responsables à quitter cette terre d'accueil idéale. En quête d'un nouveau lieu, l'institut s'est tourné vers son domaine de Pech Rouge, situé dans le massif de la Clape à Gruissan (Aude). Celui-ci, qui s'étend sur 170 hectares dont 38 plantés de vignes, est consacré plus spécifiquement au lien entre la viticulture et l'œnologie. Il y a là suffisamment de place pour accueillir la collection de Vassal : « *D'autant que Pech Rouge comporte une zone littorale à sols sableux favorables à nos variétés. Ils voisinent avec des sols marneux qui n'ont jamais été plantés en vignes et sont donc indemnes de viroses* », poursuit Blaise Genna. Car un tel déménagement est source de multiples difficultés, à commencer par la nécessité de ne transplanter que des ceps de vigne sains : « *Nous avons décidé de profiter du transfert pour assainir la collection* [lire ci-dessous] *en la débarrassant des virus responsables des trois maladies qui l'affectent, les virus de l'enroulement, de la marbrure et du court-noué* », explique Christian Huyghe.

La collection se doit d'être vierge de tout virus

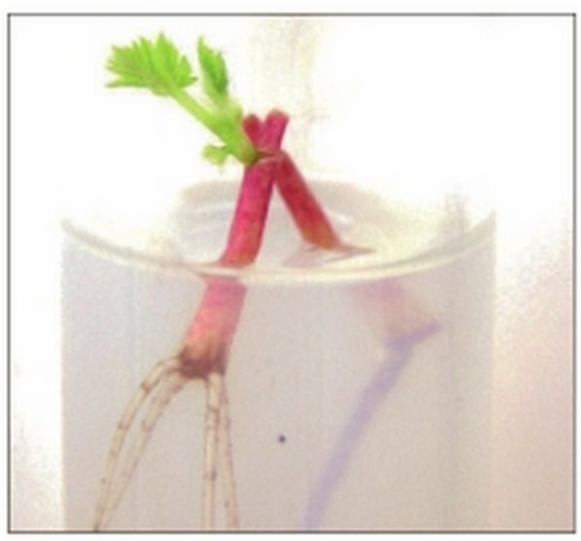
L'Inra assume en effet un rôle sanitaire, en s'assurant sur le territoire national du respect de la réglementation lors de la vente de plants, principalement par les pépiniéristes. L'institut regroupe aussi toutes les requêtes d'introduction de vignes provenant du monde entier, requêtes parfois refusées en raison du risque d'implantation d'un virus inconnu en France. Aussi met-il un point d'honneur à présenter une collection parfaitement saine, d'autant que parmi ses obligations de service public figure la diffusion gratuite des variétés aux particuliers, associations, viticulteurs, collectivités qui en font la demande.
Ce travail de lutte contre les virus en vue du déménagement a déjà

L'assainissement d'un plant en 4 étapes

IFV

1 PRÉLÈVEMENT DE L'APEX

L'apex (ou méristème) est un tissu formé de cellules indifférenciées constituant la zone de croissance de la plante. Supposé indemne de tout virus, il est prélevé pour obtenir une plante saine au patrimoine génétique identique à celle dont elle est issue.



2 PREMIÈRE CROISSANCE

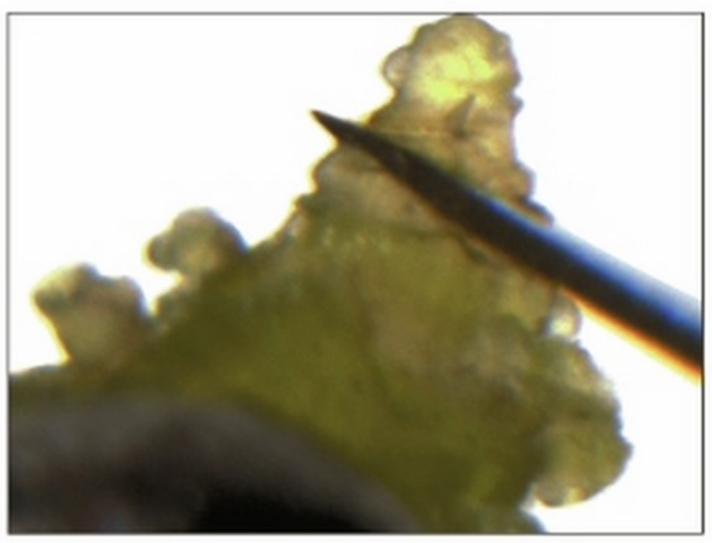
Après une première croissance dans un caisson à température constante de 32 °C, l'apex est prélevé en conditions stériles et sous loupe binoculaire, étape la plus délicate du processus.
Les premières feuilles sont enlevées.

Les bâtiments du domaine abritent la somme des études réalisées durant plus de 130 ans sur la vigne, accessibles à tous ceux qui en font la demande.

A. FRANKEWITZ/TRANSIT

commencé, à travers la culture *in vitro* des bourgeons. Il s'agit ensuite de prélever le bourgeon terminal sain et de le faire pousser en milieu stérile (*in vitro*) dans les conditions les plus favorables de chaleur, de lumière et d'humidité, afin que la plantule indemne de virus se développe. La plante ainsi obtenue est mise en culture pendant deux ans sous serre, avec d'importantes mesures de protection pour éviter toute contamination : *« On pourra alors la replanter sur les terrains de Pech Rouge avec la certitude de ne pas y apporter de virus »*, assure Blaise Genna. Avant que le déménagement ne soit décidé, le domaine de Vassal assainissait ainsi une cinquantaine de variétés par an : *« Mais à ce rythme-là, il nous aurait fallu 70 ans pour traiter 4 000 variétés ! »*, précise Blaise Genna. Le transfert de la collection oblige donc à accélérer le travail. 2 millions d'euros seront ainsi consacrés à l'assainissement des plants. Ultime précaution : aucun cep du domaine de Vassal ne sera arraché tant que les techniciens de l'Inra ne seront pas assurés que la variété concernée s'est bien adaptée à Pech Rouge. La collection sera donc constituée en double, et ce n'est vraisemblablement que dans dix ans qu'on procédera à la destruction du vignoble du lido. Enfin, et pour avoir un conservatoire répondant aux exigences les plus sévères au niveau mondial, un doublon de la collection sera entretenu en serre « indemne d'insectes », grâce à des pieds maintenus en pots.

Le transfert va être également l'occasion d'améliorer l'accueil et l'information du public, le domaine de Vassal ayant un rôle pédagogique qu'il ne peut entièrement tenir dans ses locaux exigus. À Pech Rouge, un musée devrait être bâti pour répondre à toutes les interrogations du public sur cette plante mythique. ■



3 DÉPOSE SUR PORTE-GREFFE

L'apex est déposé sur une entaille réalisée sur un hypocotyle, partie de tige située entre la base et les deux premières feuilles (cotylédons) de la plante. Cet hypocotyle issu d'un pépin sert de porte-greffe pour la culture *in vitro*.

4 CROISSANCE EN SERRE

Une fois les racines développées, la plantule est acclimatée et installée en serre pour leur croissance. L'absence de tout virus est vérifiée au bout d'un an de pousse. Sur les trois dernières années, tous les plants se sont révélés indemnes des virus de l'enroulement et de la marbrure et 76 % du virus du court-noué.

Une vision globale pour rendre l'environnement durable

Une nouvelle approche associe sciences « dures » et humaines pour préserver les ressources. Les sujets d'étude ne manquent pas, comme en Camargue ou en Louisiane.

Le dernier rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'étude du climat), rendu le 31 mars, a révélé une démarche scientifique innovante actuellement en plein boom : le système socio-écologique (SSE). Avec lui, plus question d'analyses sectorielles, mais d'une approche globale, s'attachant à relier des éléments qui peuvent sembler ne pas avoir de rapports entre eux. Ce qui implique de convoquer les sciences dites dures (écologie, géologie, techniques des fluides et de l'énergie) et les sciences humaines (sociologie, anthropologie, géographie, histoire, droit) pour faire émerger une solution « durable », autrement dit favoriser la « résilience », c'est-à-dire la capacité des écosystèmes à surmonter les perturbations subies. Les contours d'un SSE réussi sont désormais bien connus, à l'exemple de la pêche au thon en Méditerranée *(lire* S. et A. *n° 797, juillet 2013)*. Alors que pêcheurs et écologistes s'affrontaient au

CONFLIT D'INTÉRÊTS

La difficile gestion de l'eau des marais de Petite Camargue

Des outils de simulation sont développés en collaboration avec les chasseurs, les pêcheurs et les écologistes.

Les marais du Charnier et de la Scamandre sont très convoités. Chasseurs, sagneurs (récoltants de roseaux), pêcheurs, éleveurs et écologistes se disputent depuis plus de 40 ans l'utilisation de ces lieux emblématiques de la Camargue gardoise. Le problème porte principalement sur la hauteur d'eau douce à apporter aux marais et étangs afin de favoriser, selon les saisons, les uns au détriment des autres. Un conflit d'intérêts que la science des systèmes socio-écologiques (SSE) tente aujourd'hui de résoudre en faisant émerger une nouvelle gestion collective, en collaboration avec le syndicat mixte qui en assure le suivi.
« Nous avons débuté une série d'études sur le fonctionnement écologique du marais et sur ses usages afin de trouver un mode de vie commun. Nous menons cette réflexion avec le Centre de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes de la Tour du Valat, à Arles », explique Raphaël Mathevet, chercheur au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (Cefe/CNRS). Car ces roselières sont extrêmement fragiles. Que les eaux deviennent trop saumâtres, et le milieu se transforme en sansouires, des steppes composées en majorité par des salicornes. Si les eaux sont trop présentes, les étangs progressent aux dépens des roseaux. Enfin, si la zone s'assèche, c'est la colonisation par les arbres et arbustes qui menace. Les roseaux, qui sont récoltés durant l'hiver, ont principalement besoin d'eau au printemps et en début d'été pour pousser. En revanche, les chasseurs ont surtout besoin d'eau en automne et en hiver, pour attirer le gibier d'eau. Et si la chasse demeure un loisir en Camargue, notamment dans l'espace communal, elle représente aussi une activité économique dans les propriétés privées : un domaine se vendait entre 5000 et 10 000 € l'hectare en 2011, soit une valeur supérieure aux terrains destinés au pâturage ou à la culture. De plus, la venue d'une clientèle fortunée attirée par ce lieu mythique pour la sauvagine (oiseaux aquatiques migrateurs tels que canards et échassiers) fait vivre un important réseau d'hôtels et de restaurants.
La chasse est donc un acteur majeur de ces zones humides. Autre difficulté à surmonter : la coexistence de certaines activités avec la protection écologique. Ainsi, pour faire face à une demande croissante en chaume, les sagneurs avaient tendance à faucher des surfaces toujours plus importantes de roseaux, mettant en danger le principal site de reproduction en Europe de deux échassiers classés parmi les espèces protégées, le butor étoilé et le héron pourpré.
Ce n'est pas la première fois que les marais et étangs de la Petite

début des années 2000 autour de la raréfaction des stocks, une gestion fine de l'espèce par le biais de quotas a ramené la paix. L'intérêt du SSE est justement de bien décrire et quantifier ces phases d'exploitation croissante, d'effondrement, de crise et de réorganisation de l'activité. Afin d'éviter que les acteurs en conflit ne se rejettent mutuellement la responsabilité de la situation.

L'intérêt pour cette nouvelle approche est tel que 800 chercheurs spécialisés en SSE — sur une communauté mondiale estimée à 3000 environ — se sont réunis à Montpellier en mai à l'instigation notamment du Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) et du centre Agropolis de Montpellier. Objectif : étudier des cas réussis et présenter de nouveaux sujets d'étude, comme celui de la gestion de l'eau dans les marais de Camargue *(lire ci-dessous)*.

Tous se placent dans la droite ligne des pionniers comme l'écologue canadien Fikret Berkes, de l'université du Manitoba (Canada), et l'économiste suédois Carl Folke, directeur de l'Institut Beijer d'économie écologique de Stockholm (Suède), parmi les premiers à avoir entamé un fructueux dialogue entre leurs domaines de recherche dans le courant des années 1980. À la suite des réflexions conduites par l'écologue canadien Crawford Stanley Holling, théoricien de la résilience, ils ont défini alors les contours du SSE comme *« un assemblage de systèmes complexes dans lesquels les hommes font partie de la nature »*. Quelques années plus tard, Elinor Ostrom, chercheuse en sciences politiques à ▶

DR

« C'est une façon d'apporter aux citoyens la connaissance des impacts. Car ce n'est pas aux seuls gouvernants de décider »

Annamaria Lammel, psychologue du développement à l'université Paris-VIII, coauteure du rapport du Giec

JOSÉ NICOLÀS

◀ **Les roselières,** exploitées pour le chaume, font partie du système écologique de la région.

Camargue gardoise traversent une période difficile. Ces zones ont connu pas moins de quatre crises socio-écologiques majeures, de l'assèchement des marais ordonnés par Henri IV au XVI^e siècle aux perturbations provoquées par le creusement du canal du Rhône à Sète au XVII^e siècle et à la valorisation agricole des années 1960. Autant de péripéties qui ponctuent la destinée d'un endroit si peu naturel, tellement humain. *« Nous ressentons aujourd'hui une envie d'échanges entre tous les acteurs*, constate Raphaël Mathevet. *Nous avons mis sur pied, en collaboration avec les scientifiques, les structures locales et les usagers, des outils de simulation qui permettent d'explorer collectivement les effets des choix de gestion sur la roselière, la faune sauvage et les activités humaines.* » Dans les années qui viennent, les apports d'eau se feront donc à partir de décisions collectives appuyées par une expertise scientifique reconnue par tous les partenaires. Sans conflit, espère-ton, et pour le bénéfice commun.

CATASTROPHE NATURELLE

Ouragan Katrina : l'échec révélateur

Une prise en charge des problèmes économiques et sociaux de la Nouvelle-Orléans aurait pu éviter le désastre.

La destruction du cœur de la Nouvelle-Orléans par l'ouragan Katrina, le 29 août 2005, a constitué un traumatisme pour l'Amérique. Comment le pays technologiquement le plus avancé du monde a-t-il pu subir une telle catastrophe qui a fait 2000 morts, 150 000 sinistrés et 125 milliards de dollars de dégâts ? Plusieurs critères d'analyse des systèmes socio-écologiques (SSE) expliquent le désastre. D'abord, une trop grande confiance dans les infrastructures. Située sur le golfe du Mexique, au bord du Mississippi, la ville était persuadée d'être protégée, ayant eu à affronter 27 crues majeures au cours des 290 dernières années. En 1965, de nouvelles digues avaient été édifiées après le passage de l'ouragan Betsy. Elles avaient parfaitement rempli leur office lors de trois cyclones tropicaux en 1985, 1997 et 1998. Or, six ans avant la catastrophe, des scientifiques avaient alerté sur la nécessaire rénovation des digues. Selon eux, les ouvrages risquaient de rompre. Des pompages dans la nappe phréatique pour l'alimentation en eau potable avaient par ailleurs abaissé le niveau du sol des quartiers périphériques de la ville, les rendant davantage vulnérables aux inondations. Les alertes étaient restées vaines.Nul ne s'était intéressé non plus aux mutations urbaines et à la façon dont la ville s'était étendue. Or, ces endroits avaient progressivement été urbanisés en raison de l'illusion de protection donnée par les digues. Enfin, le lien n'avait pas été fait avec les critères sociologiques. Métropole à l'économie déclinante, la Nouvelle-Orléans avait perdu 31 % de sa population depuis 1961, les classes aisées ayant laissé la place dans les quartiers bas de la ville à une population noire déshéritée. Celle-ci n'a pas eu les moyens de fuir rapidement les zones inondées lors de la catastrophe et a même été la cible des forces de police appelées pour réprimer ce qu'elle a pris pour des « pillards » alors qu'il s'agissait de citoyens en détresse cherchant eau et nourriture. Depuis la crise, la Nouvelle-Orléans est entrée dans une phase de reconstruction qui n'est toujours pas achevée. La ville reste à la recherche d'une nouvelle façon de répondre à des événements extrêmes. Et le débat n'est pas tranché entre ceux qui veulent rebâtir « en mieux » au même endroit une cité plus forte et ceux qui pensent qu'au regard du réchauffement climatique, il serait préférable de s'éloigner du littoral.

CHARLIE VARLEY

Les quartiers les plus bas, exposés aux inondations, abritaient une population défavorisée.

▸ l'université d'Indiana (États-Unis) et prix Nobel d'économie en 2009, proposait concrètement un cadre d'analyse pour théoriser les liens entre la disponibilité d'une ressource, les utilisateurs de cette ressource et les règles qui encadrent son exploitation.
« C'est une nouvelle façon d'apporter aux citoyens la connaissance des impacts afin que les mesures d'adaptation parfois douloureuses à prendre dans les prochaines années soient acceptées et assumées. Car ce n'est pas seulement aux gouvernants de décider », explique Annamaria Lammel, maître de conférences en psychologie du développement à l'université Paris-VIII et coauteure du rapport du Giec. *« Un système socio-écologique se compose d'éléments naturels comme les sols, l'eau, les minerais, la faune et la flore, mais aussi d'individus, d'organisations telles les entreprises ou les associations, et de groupes sociaux,* détaille François Bousquet, chercheur au Cirad. *C'est pourquoi il est indispensable d'étudier les interactions pour comprendre comment le système contribue et répond aux changements climatiques, économiques, sociaux, sanitaires, politiques en s'adaptant ou en se transformant radicalement. »* ■

Loïc Chauveau

À LIRE

▸ **Résilience et environnement, penser les changements sociaux**, Raphaël Mathevet et François Bousquet, Buchet-Chastel, 176 p., 16 €

En week-end, n'emportez que le nécessaire.

4,80 € SEULEMENT | Disponible dès le vendredi

LES FIGARO week-end

Le blé, une céréale génétiquement hors norme

Le séquençage du chromosome 3B du blé tendre vient de s'achever après neuf années de recherche. Mais il en reste encore 20 à déchiffrer. Un travail titanesque.

INRA/CHRISTOPHE MAÎTRE

Frédéric Choulet, chercheur à l'Inra, a dirigé cette étude au long cours.

ET D'UN ! L'INRA de Clermont-Ferrand a annoncé dans la revue *Science* du 18 juillet en avoir enfin terminé avec le séquençage du chromosome 3B du blé tendre après neuf années de travail. Le premier d'une longue série car il en reste vingt ! *Triticum aestivum*, le froment, l'espèce de blé la plus cultivée en France, possède en effet un génome de taille XXL : « *Le blé tendre utilisé en boulangerie est dit polyploïde, associant trois sous-génomes dont la taille représente cinq fois celle du génome humain !* », explique Frédéric Choulet, chercheur à l'Inra et auteur principal de l'article. Le chromosome 3B représente ainsi à lui tout seul 774 millions de nucléotides (l'élément de base des gènes) soit 1,5 fois plus que le génome entier du riz ! L'Inra a produit une séquence de référence ordonnée d'un bout à l'autre du chromosome : « *Nous connaissons donc l'emplacement de chaque gène le long de ce chromosome* », poursuit Frédéric Choulet.

Ce séquençage fait apparaître une structuration très marquée du chromosome. Ses extrémités sont beaucoup plus riches en gènes exprimant la spécificité de cette céréale (résistance aux pathogènes, tolérance aux stress...), tandis que la partie centrale est constituée de gènes anciens communs à la plupart des céréales. Les gènes des extrémités seraient donc associés à l'adaptation du blé à son environnement. Le Consortium international de séquençage du génome du blé, créé en 2005 pour s'attaquer à ce monstre génomique, espère boucler le tour des 17 milliards de nucléotides du blé d'ici à 2017. ■ **Loïc Chauveau**

Une organisation complexe

LES GÉNOMES DITS POLYPLOÏDES (comportant plusieurs exemplaires d'un génome) sont fréquents chez les plantes, beaucoup plus que chez les animaux. Les mécanismes d'évolution provoquent des doublements fréquents du génome. Apparu avec les plantes à fleurs il y a 150 millions d'années, le blé a divergé du riz et du maïs il y a 60 millions d'années et de ses « cousins » orge et seigle il y a 10 millions d'années. Son génome était alors déjà « lourd » de 5 milliards de nucléotides. Il a depuis subi deux événements de polyploïdisation, le dernier épisode intervenant il y a 10 000 ans, au moment de sa domestication par l'homme. C'est pourquoi le blé tendre de nos cultures est hexaploïde (il possède trois paires de sept chromosomes), alors que les blés sauvages sont diploïdes ou tétraploïdes.

D. DELPHINO/BIOSPHOTO

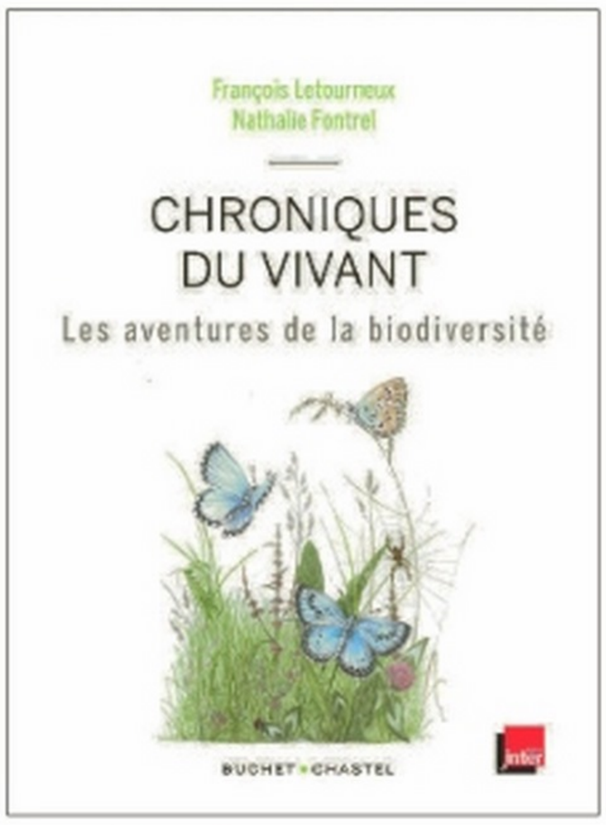
Le froment (*Triticum aestivum*) est l'espèce la plus cultivée en France.

Les autres céréales

Le riz C'est le premier génome de céréale à avoir été séquencé, dès 2005. *Oryza sativa* possède un « tout petit » génome de 430 millions de nucléotides pour environ 50 000 gènes. Des travaux sur le rendement, la résistance aux maladies et au stress abiotique (sécheresse) ont depuis été lancés.

Le maïs
Le séquençage de son génome s'est achevé en 2009. Le maïs compte 2,3 milliards de nucléotides pour 32 000 gènes et dix chromosomes. Les travaux se poursuivent sur son adaptation et son évolution.

L'orge Un premier séquençage s'est terminé en 2012 après six années de travaux. L'orge possède 5,3 milliards de nucléotides pour un total de 32 000 gènes. Mais le travail est encore incomplet car les séquences du génome n'ont pas encore été ordonnées. Les industriels du whisky et de la bière sont très intéressés.



François Letourneux, Nathalie Fontrel,
Buchet Chastel et France Inter, 128 p., 18 €

Chroniques du vivant Les aventures de la biodiversité

Pour les chercheurs, l'aventure est parfois au coin de la rue et l'on peut vérifier à Montpellier ce que Darwin est allé démontrer aux Galapagos... Ainsi, le pissenlit *Crepis sancta* prospère entre les dalles du quartier construit par l'architecte Ricardo Bofill, comme sur des îlets de terre dans un océan de béton.
Il produit sélectivement des graines lourdes, qui germeront sur place, sur leur bande de terre et non plus des graines légères qui n'auraient aucune chance de fructifier sur les trottoirs de la cité, a montré Pierre-Olivier Cheptou, du CNRS. Un bel exemple de stratégie d'adaptation à la ville. C'est cette histoire que raconte l'une des 26 « chroniques du vivant », joliment menées par François Letourneux, ancien directeur du Conservatoire du littoral puis du Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), avec Nathalie Fontrel. Chacune est ponctuée d'une petite « leçon de nature ». L'ensemble est délicatement illustré par Agathe Haevermans, du Muséum national d'histoire naturelle. ■ **Rachel Mulot**

FLORA GALLICA

Collectif, Biotope, 1400p, 89 €
(à paraitre début septembre)

Il a fallu 15 ans à 60 spécialistes reconnus par la Société botanique de France pour réaliser l'ouvrage le plus exhaustif sur les plantes poussant sur notre territoire. Les 6000 taxons répertoriés sont à jour des dernières découvertes et suivent la classification phylogénétique la plus récente. Cette somme comprend aussi 1500 dessins. ■ **L. C.**

SAFARI DANS LA BOUSE

Marc Giraud, La Martinière 128 p.
12,90 € (à paraître le 18 septembre)

L'auteur met son nez dans les déjections et ce n'est pas triste. Il dresse un portrait flatteur de tous les insectes et autres bestioles faisant leur miel des excréments, les zélés nettoyeurs de la Terre. Outre la bouse de vache, l'ouvrage se penche aussi sur les crottes de baleine et les étrons humains. Exhaustif ! ■ **L. C.**

AH L'EAU !

Jasmine Francq, illustré par Marta Orzel, Actes Sud Junior, 48 p., 9,90 €

De quoi sont faits les nuages ? Où va l'eau du robinet ? Des glaciers jusqu'au fond des océans, les enfants découvrent le cycle de l'eau au gré des aventures de Lili la petite goutte d'eau, illustrées avec poésie. Petits jeux, coloriages et poissons en origami sont aussi au menu de cet ouvrage bien pensé, adapté des ateliers jeune public proposés au parc de la Villette à Paris. Dès 4 ans. ■ **A. B.**

Dans la peau d'une plante

Catherine Lenne,
Belin, 256 p., 23 €

Saviez-vous que l'achillée naine était couverte de poils pour résister au froid ou que le liège avait une texture mi-anorak, mi-pansement ? Avec ce livre, vous ne regarderez plus le monde végétal du même œil. Il vous propose de vous glisser dans la peau d'une plante, de découvrir sa vie sexuelle et sa vie sociale, ses problèmes de poids, mais aussi ses voyages et ses incroyables stratégies. L'ouvrage s'articule autour de 70 questions impertinentes : *« Quel Pacs lie légumineuses et bactéries ? » « Est-ce que les plantes carnivores font caca ? » « Qu'est ce qui se cache sous la jupe des fleurs ? » « Les fougères sont-elles schizophrènes ?»...* Le ton est léger. Catherine Lenne, enseignante-chercheuse à l'université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand, est une vulgarisatrice de talent qui anime aussi un blog de botanique amusante — www.desfleursanotreporte.com — où l'on apprend notamment à ne plus confondre un bouton-d'or avec n'importe quelle renoncule. ■ **R. M.**

La Terre vue d'en haut, l'invention de l'environnement global

Sebastian Vincent Grevsmühl,
Seuil, 372 p, 20 €
(à paraitre le 25 septembre)

« Des images d'Apollo aux mappemondes figurant le changement climatique, ou aux photographies de La Terre vue du ciel *de Yann Arthus-Bertrand, la Terre est devenue objet de surveillance, de savoir global, de contemplation esthétique, tout autant qu'icône pop écolo »*, explique Sebastian Vincent Grevsmühl. L'historien et philosophe des sciences de Paris-VI développe ici une réflexion approfondie et stimulante sur le renversement de nos perspectives : les images spatiales ont remplacé le globe géographique dans l'imaginaire collectif et l'illusion de pouvoir maîtriser la Terre et son atmosphère a succédé aux tentations colonialistes ou exploratrices. Des aérostats aux capsules spatiales ou aux lasers, le chercheur revient sur les différentes inventions technologiques, photographiques, scientifiques et militaires qui ont permis de « voir » la Terre autrement. Il sabre au passage quelques idées reçues (n'en déplaise à Al Gore, la conscience environnementaliste est née avant les images de la« planète bleue » photographiée depuis l'espace). Et conclut par une critique très argumentée de la géo-ingénierie.
Un livre crucial qui laisse un petit regret : on aurait aimé qu'il soit encore plus abondamment illustré. ■ **R. M.**

La chirurgie des mains multiplie les prouesses

Grâce aux progrès des prothèses robotisées et aux greffes, la perte d'une main ne condamne plus à un handicap définitif. Au printemps dernier, pour la première fois, un patient a pu retrouver le sens du toucher.

Par Marc Gozlan

SAISIR À NOUVEAU DES OBJETS, les manipuler sans les casser... Les progrès dans le domaine des prothèses de mains robotisées se sont multipliés ces derniers mois. Un patient danois a même pu recouvrer le sens du toucher et faire la différence, les yeux fermés, entre une balle de tennis et une orange.

Développées dans la dernière décennie, les prothèses myoélectriques, fabriquées par trois sociétés européennes (Touch Bionic et RSL Stepper au Royaume-Uni, Ottobock en Allemagne), sont les plus répandues. Ces appareils comportent sur la face interne de l'emboîture des capteurs en contact direct avec la peau. *« Les prothèses sont commandées par la contraction volontaire de muscles du moignon, le membre étant amputé entre la partie moyenne de l'avant-bras et le poignet »*, explique le Dr Colin de Cheveigne, chirurgien de la main à la clinique de l'Union, près de Toulouse. Les capteurs détectent les signaux électriques musculaires qui sont aussitôt envoyés à des moteurs placés dans les articulations du poignet et des doigts de la main artificielle.

Ces mini-moteurs se mettent en action grâce à l'énergie fournie par une batterie située dans l'armature de la prothèse. Selon le nombre de capteurs utilisés – deux le plus souvent, parfois quatre –, il est possible d'ouvrir ou de fermer la main et de faire pivoter la prothèse en tournant la paume vers le haut ou le bas. Des gestes certes sommaires, mais qui suffisent pour un grand nombre d'actions quotidiennes.

« On pourrait multiplier le nombre de capteurs en regard des muscles contractés, mais ce perfectionnement ne pourrait se faire qu'aux dépens de la fiabilité. Imaginez une voiture dont les freins ne marcheraient que 9 fois sur 10... Impensable ! », souligne le Pr Oskar Aszmann, chirurgien de la main au département de Chirurgie plastique et reconstructrice de l'Université médicale de Vienne (Autriche). *« Avec deux capteurs, les patients sont très satisfaits. Ils peuvent réaliser 80 % des gestes de la vie courante. »*

La pression peut varier pour serrer un objet sans l'abîmer

Les prothèses myoélectriques nécessitent un apprentissage de quelques jours ou quelques semaines. Pour ouvrir la main et bouger les doigts motorisés, les patients s'entraînent à contracter spécifiquement un muscle de l'avant-bras servant habituellement à étendre le poignet. Certaines prothèses vont jusqu'à renseigner sur la force du mouvement provoqué par la contraction. L'emboîture de la prothèse exerce alors une pression variable sur le moignon en même temps qu'elle envoie des vibrations, plus ou moins fortes, ressenties par le patient. Ce « retour d'informa-

66
greffes de main
ont été réalisées dans le monde à ce jour, dont 22 unilatérales.

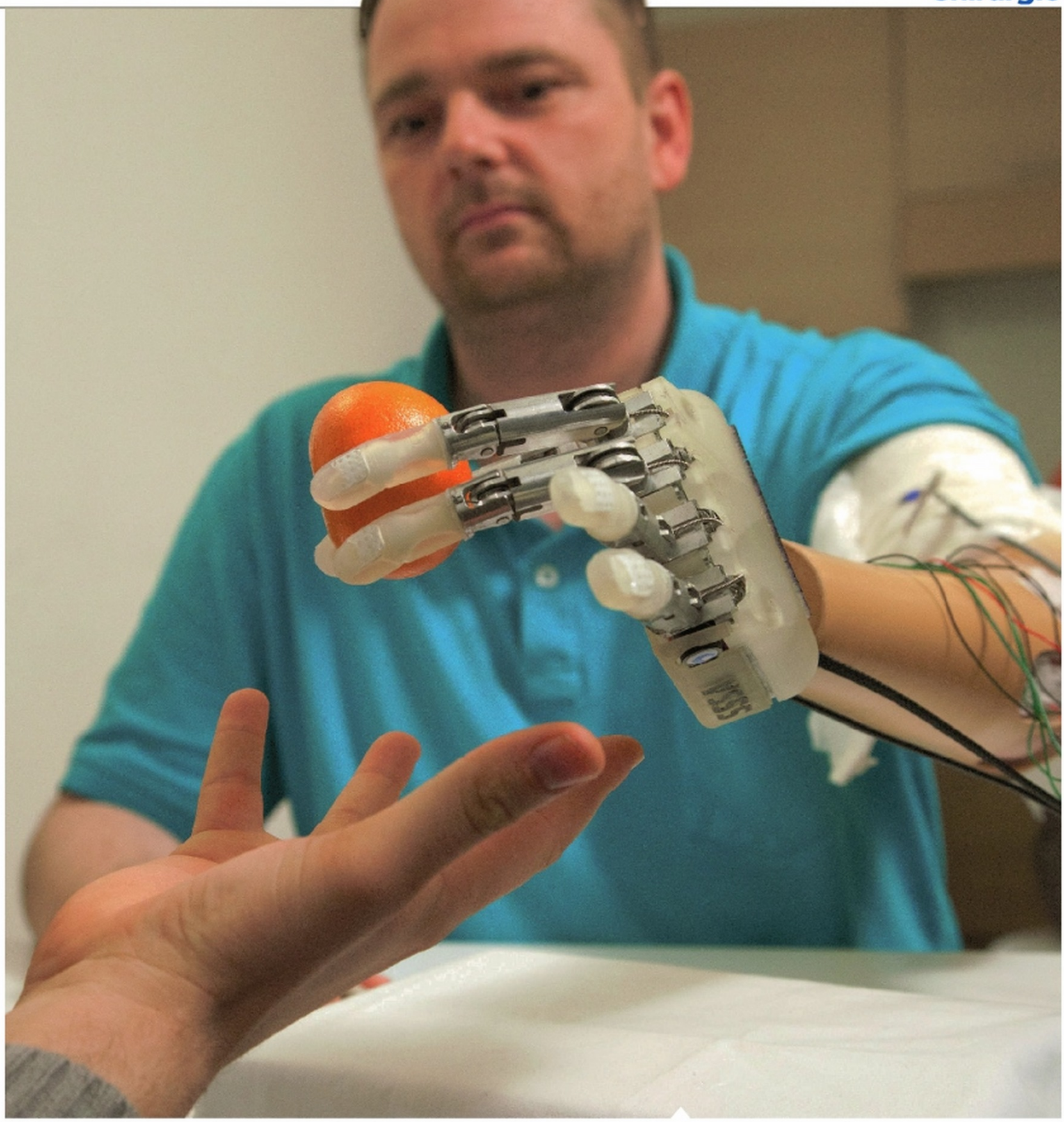
7 greffes bilatérales
ont été réalisées à Lyon.

5
amputations de main
suite à un traumatisme sont réalisées en moyenne chaque année en France.

COURTESY OSKAR ASZMANN

« Avec une prothèse myoélectrique à deux capteurs, les patients peuvent réaliser 80 % des gestes quotidiens »

Oskar Aszmann, chirurgien de la main au département de Chirurgie plastique et reconstructrice de l'Université médicale de Vienne (Autriche)



PATRIZIA TOCCI/LIFE HANDZ

tion » l'aide à optimiser son geste : il peut alors serrer un verre ou un fruit sans le casser ou l'abîmer.
En France, une centaine de ces mains artificielles sont implantées chaque année. Dix militaires et deux fonctionnaires du ministère de l'Intérieur en ont notamment bénéficié. Tous ont été victimes d'engins explosifs lors d'opérations militaires ou de déminage, comme le précise le Pr Éric Lapeyre, chef du service de Médecine physique et réadaptation à l'hôpital d'instruction des armées Percy, à Clamart (Hauts-de-Seine). « *Nous avons également eu des patients amputés des deux mains, ce qui nécessite pour chaque prothèse une adaptation personnalisée* », poursuit l'expert.
Encore au stade expérimental, les prothèses bioniques tentent, quant à elles, de mimer le fonctionnement physiologique de la main perdue. Le Pr Aszmann en explique le principe : « *Une reconstruction bionique consiste à modifier l'anatomie humaine en utilisant les tissus propres du patient (muscles, nerfs), voire en modifiant le squelette (ablation, raccourcissement ou allongement d'éléments osseux), afin de ménager de l'espace à la prothèse.* ▶

Le premier patient à bénéficier d'une prothèse dotée du sens du toucher, le Danois Dennis Aabo Sørensen peut différencier, les yeux fermés, une orange d'une balle de tennis.

GREFFES BILATÉRALES

Vivre avec les mains d'un autre

Des dizaines d'amputés ont bénéficié d'une double greffe, seul moyen qui permette de retrouver des organes vivants. Mais l'opération, lourde, n'est pas sans risques à long terme.

Corinne Hutton, 44 ans, sera bientôt l'une des premières femmes greffées des deux mains. Quatorze ans après la première mondiale réalisée par une équipe lyonnaise en 2000, cette Écossaise devrait à son tour bénéficier d'une double transplantation (allogreffe bilatérale), comme des dizaines d'autres patients dans le monde. L'opération consiste à reconnecter sur le receveur, dont le groupe sanguin doit être compatible avec celui du donneur, les différents composants de la main avec ses os, ses muscles, ses tendons, ses nerfs, ses vaisseaux et sa peau. Une opération à risques. La greffe de main oblige en effet à suivre, à vie, un traitement antirejet qui expose à des effets secondaires potentiellement graves (infections, diabète, cancer des ganglions ou de la peau). Un des premiers cas de rejet chronique a été révélé en juin lors du congrès de la Fédération des sociétés européennes de chirurgie de la main (FESSH), à Paris. « *Il témoigne des efforts de l'organisme d'un patient de 21 ans pour refuser, des années après la greffe, une main qui lui est étrangère. La situation pourrait évoluer vers la perte de la main greffée* », indique le Dr Aram Gazarian, responsable de l'équipe chirurgicale des allogreffes de main à l'hôpital Édouard-Herriot (Lyon).

Après rééducation, l'autonomie avoisine 60 % de celle des mains naturelles.

Pourtant, la voie reste prometteuse. L'allogreffe bilatérale est en effet à ce jour « *le seul moyen de retrouver des mains réellement "vivantes", à la fois mobiles et sensibles,* explique le Dr Gazarian. *Mais l'opération est réservée en France à des amputés des deux mains, bien informés des risques à long terme et très déterminés dans leur souhait de reconstruction. Car la plupart des patients peuvent se satisfaire d'une prothèse.* » Seuls ceux qui vivent l'amputation comme une mort sociale et professionnelle sont jugés aptes à accepter le fait de vivre avec les mains d'un autre, même au prix d'un traitement antirejet susceptible de limiter leur espérance de vie. « *Les capacités des patients ayant bénéficié d'une allogreffe bilatérale sont meilleures que celles obtenues après réimplantation d'une main sectionnée* », affirme le Dr Gazarian. Surtout, ces patients parviennent à réaliser « *95 % des gestes de la vie courante* ». Les capacités des mains greffées, en termes de sensibilité, de mobilité et de force, sont d'environ 40 % de celles d'une main ordinaire. L'indice de satisfaction des patients transplantés atteint 8 sur 10. Pourtant, le vécu postopératoire des patients n'est pas simple. Certains troubles préexistants comme l'anxiété, la dépression ou les addictions sont réactivés. À ce jour, aucun cancer n'est cependant survenu. « *Mais il est impossible de savoir quelle sera la survie des mains greffées de ces patients : dureront-elles plus ou moins longtemps que les reins transplantés, dont un sur deux ne fonctionne plus au bout de 13 ans ?* », s'interroge le Dr Gazarian. Pour autant, le principal obstacle au développement de ces greffes reste la pénurie de donneurs.

COURTESY ARAM GAZARIAN

« Cette opération est réservée aux amputés des deux mains, très déterminés dans leur souhait de reconstruction »
Aram Gazarian, chirurgien, hôpital Édouard-Herriot, Lyon

DE LA PREMIÈRE GREFFE À LA MAIN BIONIQUE

Septembre 1998 : première greffe de main, unilatérale, réalisée par une équipe lyonnaise sur un patient néo-zélandais.

Janvier 1999 : Seconde transplantation d'une main aux États-Unis (Louisville, Kentucky).

Janvier 2000 : première double transplantation à Lyon sur un patient de 33 ans, victime d'une explosion. Rapidement suivie par deux autres en Autriche et en Chine.

2001 : le patient de Lyon, ne prenant pas régulièrement son traitement immunosuppresseur, se fait amputer à Londres de sa main greffée en 1998.

2014 : une équipe italo-suisse réussit à rendre le sens du toucher à un amputé grâce à une prothèse de main bionique.

Le patient peut ainsi mieux contrôler celle-ci, qu'elle soit myoélectrique ou mécatronique, c'est-à-dire intégrant mécanique, électronique et informatique en temps réel. » L'une de ces prothèses bioniques, dotée d'une sensibilité tactile, a été mise au point par l'équipe du Pr Silvestro Micera, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), et testée avec succès au printemps 2014 sur un Danois amputé depuis dix ans. Elle comporte des capteurs placés sous les doigts motorisés, qui envoient des signaux aussitôt convertis en courant électrique délivré, grâce à de minuscules électrodes, à deux nerfs de l'avant-bras véhiculant normalement la sensibilité d'une partie de la main. Ce « retour sensoriel tactile » permet au patient de recouvrer le sens du toucher dans cette zone de la main, assez pour moduler la force de préhension de sa prothèse et identifier la rigidité et la forme de certains objets sans être aidé par un quelconque élément visuel ou auditif.

Les nerfs greffés se régénèrent peu à peu

Le Pr Oskar Aszmann teste, lui, des prothèses bioniques sur des patients ayant décidé de se faire amputer après avoir perdu l'usage de la main depuis plusieurs années à la suite d'une électrocution ou d'un traumatisme. « *Nous avons ainsi appareillé un jeune homme de 22 ans en 2013* », confie le chirurgien. L'opération — réitérée depuis sur sept autres patients — a nécessité un dispositif particulier. Avant de procéder à l'amputation de la main inutilisable, le chirurgien a en effet implanté la prothèse bionique à côté de la main naturelle, de sorte que les patients se sont retrouvés quelque temps avec deux mains du même côté ! « *C'est une façon de leur faire prendre conscience de ce qu'ils peuvent réaliser grâce à la prothèse et qu'ils ne peuvent plus faire avec leur main naturelle* », explique le Pr Aszmann. Une étape importante également pour l'apprentissage, chaque patient devant s'habituer à contrôler, avec son cerveau, les muscles de l'avant-bras reliés à la prothèse.

L'approche du Pr Oskar Aszmann consiste aussi à pallier le manque de muscles viables dans l'avant-bras — empêchant la détection des signaux électriques par les capteurs — en prélevant sur la cuisse un lambeau musculaire avec son nerf, son artère et sa veine. Celui-ci est raccordé à l'avant-bras. Résultat : un contrôle plus efficace de la prothèse. « *C'est la preuve que des nerfs, toujours présents dans des muscles morts, ont fini par repousser, par se régénérer une fois raccordés à un tissu musculaire frais* », explique le Pr Aszmann. Le chirurgien s'apprête d'ailleurs à publier dans la revue médicale *The Lancet* un article intitulé « Reconstruction bionique de l'extrémité supérieure ». « *Ce n'est pas parce qu'il a des mains que l'homme est le plus intelligent des êtres, mais parce qu'il est le plus intelligent des êtres qu'il a des mains* », écrivait Aristote dans son traité *Parties des animaux*. Demain, cela sera encore plus vrai avec les prothèses bioniques. ■

LE + NUMÉRIQUE
Une vidéo (en anglais) sur la reconstruction bionique
http://sciav.fr/1sykxMd

FRANCOIS TORTUCHAUSSES

Les prothèses bioniques les plus récentes, avec rotation du pouce, permettent des gestes extrêmement fins.

Farines et dérivés : comment s'y retrouver ?

Sans gluten, riches en fibres, à base de quinoa, riz, châtaigne ou sarrasin... l'offre est devenue pléthorique. Mais toutes les farines ne se valent pas.

Complètes, raffinées, fluides, de blé ou de sarrasin, de quinoa ou de châtaigne... Aujourd'hui, l'offre de farines est devenue pléthorique. Alors que l'alimentation des Français est jugée trop pauvre en fibres par apport aux recommandations nationales, et que la peur — justifiée ou non — du gluten suscite un véritable marché, l'industrie agro-alimentaire joue la carte de l'« aliment santé » en élargissant sa gamme. Résultat, les rayons des épiceries spécialisées ou des grandes surfaces regorgent de produits simples ou transformés : biscuits, pâtes ou céréales de petit-déjeuner, estampillés « sans gluten » ou « riche en fibres ». Mais ces offres ciblées, pas toujours bon marché, présentent-elles un réel intérêt nutritionnel ? Si la réponse est incontestablement positive pour les véritables intolérants au gluten ou les diabétiques, qu'en est-il pour le plus grand nombre des consommateurs ?

Leurs glucides sont notre principale source d'énergie

Les farines, sous forme de pâtes, de pains ou d'autres produits panifiés (gâteaux, biscuits, crêpes...) contiennent de l'amidon, un glucide complexe essentiel à notre santé. Avec les autres glucides, souvent injustement décriés, il constitue en effet la première source d'énergie de notre corps, et est notamment indispensable au fonctionnement de notre cerveau. Un des objectifs prioritaires du Plan national nutrition santé est d'ailleurs d'augmenter la consommation de glucides des Français afin qu'ils contribuent pour plus de 50 % aux apports énergétiques journaliers, en favorisant la consommation d'aliments riches en amidon.

56,5 %

La part que représentent, en France, les produits céréaliers, élaborés à base de farines, dans les apports en sucres dit lents, devant les pommes de terre (42,6 %) et les légumes secs (moins de 1 %).

Leur indice glycémique est très variable...

L'ingestion d'amidon provoque une élévation puis une diminution du taux de glucose dans le sang, dont l'intensité et la durée varient en fonction de l'aliment. L'indice glycémique (IG) rend compte de ces différences de cinétique d'apparition du glucose dans l'organisme. Ainsi, un aliment à

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

GLUTEN Substance protéique présente dans le blé, l'orge, le seigle, et formée de deux fractions, les glutélines et les prolamines. Les aliments sans gluten sont marqués d'un logo représentant un épi de blé barré dans un cercle.

AMIDON Glucide complexe constituant la principale réserve en énergie des céréales, légumineuses et tubercules. Il est décomposé en glucose dans l'estomac par les amylases avant de passer dans la circulation sanguine.

RAFFINAGE Opération consistant à enlever le son (la couche extérieure du grain) et le germe (son centre) de la céréale, pour obtenir une farine plus blanche et plus fine.

indice glycémique bas ou modéré (IG < 55) élève moins vite le taux de sucre sanguin qu'un aliment à indice glycémique élevé (IG > 70), comme les produits raffinés. Or, un aliment qui augmente brusquement la glycémie provoque aussitôt une libération importante d'insuline. La glycémie redescend alors très rapidement, ce qui a pour effet... d'augmenter la sensation de faim. C'est pourquoi les aliments à fort IG, en ouvrant l'appétit, favoriseraient la prise de poids. Une hypothèse validée par des études chez les diabétiques (1), mais pas chez l'homme sain (2).

... et dépend de leur structure

L'IG varie en fonction de la structure d'un aliment et de la nature de la farine qui le compose. L'IG d'une baguette classique atteint 80 quand celui d'un pain de seigle complet ou des spaghettis est de 50 (3). Ces différences s'expliquent par la structure de l'amidon, qui constitue le « squelette » de l'aliment. Pour obtenir un pain blanc très alvéolé, l'amidon est soumis à une cuisson qui le fait gonfler rapidement. Cela modifie sa structure, le rendant plus souple mais aussi plus vulnérable aux enzymes permettant sa digestion, les amylases. Le glucose issu de l'amidon grâce au travail de ces derniers passera alors rapidement dans le sang. À l'inverse, un pain à la mie plus dense ou des spaghettis présentent un amidon enchâssé dans une matrice protéique qui réduit l'accessibilité des amylases. La densité de la farine joue également sur l'IG. Ainsi le blé tendre a une densité de 0,32 kg/l, l'épeautre d'environ 0,42 g/l, le seigle de 0,55 g/l, et l'avoine de 0,66 g/l. Ces valeurs expliquent les IG plus faibles des farines d'avoine et de seigle (4).

Elles peuvent fournir des fibres et des minéraux

Tout dépend du degré de raffinage des farines, indiqué par un « T » sur l'emballage, qui traduit la teneur en minéraux pour 100 g de matière sèche. Une farine T 45 correspond à 0,45 g de résidu après chauffage. Plus la valeur du T est basse, plus la farine est pauvre en minéraux et en fibres. Les types T 45 à T 65 sont les plus répandues. Utilisées pour la pâtisserie, le pain blanc, la pâte à pizza ou les pâtes classiques, ces farines apportent peu de vitamines et minéraux. La T 80, dite bise, est utilisée pour les pains de campagne. Enfin, les T 110, dite complète, et T 150, dite intégrale, servent respectivement à la fabrication des pains et pâtes complets et bénéficient d'une forte teneur en fibres. Passer d'une farine T 55 à une T 80 augmente la teneur en fibres de l'aliment sans en modifier le goût ni l'aspect. Un détail qui compte lorsqu'on sait qu'une baguette complète fournit 5,3 g de fibres pour 100 g contre seulement 2,9 g pour une baguette blanche. En outre, les fibres modèrent l'appétit, et l'on constate moins de maladies chroniques chez les personnes ayant un régime alimentaire riche en fibres (5). Or seul un homme sur cinq et une femme sur dix atteignent le seuil minimum des apports recommandés, qui s'élève à 25 g par jour (6).

Certaines sont dépourvues de gluten

Les farines de maïs, sarrasin, riz, quinoa, châtaigne ou pois chiches sont toutes exemptes de gluten. Cette protéine issue de certaines céréales (blé, seigle, orge) est responsable chez environ 1 % de la population française (7) de la maladie cœliaque, qui provoque une destruction des villosités de l'intestin grêle. Mais à côté de cette pathologie, la notion d'hypersensibilité au gluten est de plus en plus évoquée. Elle se traduit par les mêmes symptômes, sans que soient retrouvés les anticorps caractéristiques de l'intolérance. Cette hypersensibilité fait débat au sein de la communauté scientifique (*lire* S. et A. *spécial allergies, n° 807, mai 2014*). ■

Marie-Noëlle Delaby

DR LAURENCE PLUMEY Médecin nutritionniste, auteure du *Grand Livre de l'alimentation*, Eyrolles.

« Une bonne source de fibres si elles sont complètes »

« Les farines sont d'abord une bonne source de glucides énergétiques (amidon). Elles contribuent au rassasiement, de façon plus ou moins rapide. Ainsi, le pain blanc calme vite la faim, mais pas durablement, alors que le pain aux céréales rassasie plus longtemps. Mais la farine apporte aussi des minéraux, des vitamines et des fibres, surtout quand elle est complète. Par exemple, le pain complet contient deux fois plus de minéraux, de vitamines du groupe B et de fibres que le pain blanc. »

(1) « Low-glycaemic index diets and body weight regulation », McMillan-Price J et al., *Int J Obesity* 2006.

(2) « Dietary glycaemic index from an epidemiological point of view », Feskens EJM et al., *Int J Obes* 2006.

(3) « International table of glycaemic index and glycaemic load values, 2002 », Foster-Powell K et al., *Am J Clin Nutr* 2002.

(4) « Structure du pain et index glycémique », Luc Saulnier et al., *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2014.

(5) « Dietary fiber intake and mortality in the NIH-AARP Diet and Health Study », Park Y. et coll., *Arch. Intern. Med.* 2011 ; 171 (12) :1061-8.

(6) « Les apports de fibres alimentaires dans la population française, étude Nutrinet., 22 novembre 2012 », www.etude-nutrinet-sante.fr

(7) « La maladie cœliaque », site de l'Association française des intolérants au gluten : www.afdiag.fr

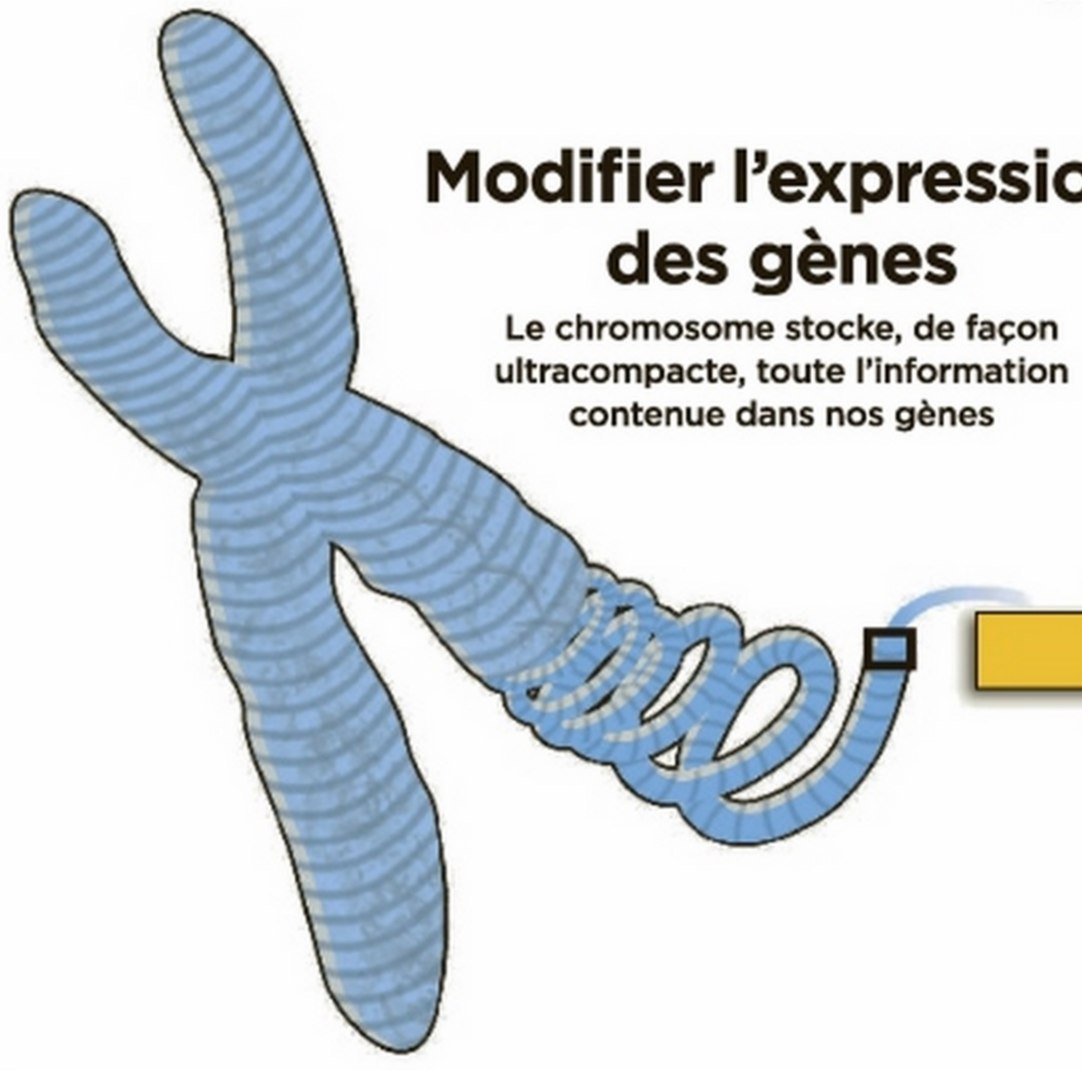
L'épigénétique au secours des maladies auto-immunes

En agissant sur l'organisation des gènes, de nouvelles pistes thérapeutiques permettraient de guérir certaines maladies rares comme le lupus ou la sclérose en plaques.

Longtemps cantonnée à la recherche pure, l'épigénétique pose ses jalons en médecine humaine. Et pour des pathologies majeures, puisque cette branche de la biologie pourrait apporter les réponses à certaines maladies du système immunitaire. Cela a été révélé lors du dernier congrès international sur les maladies auto-immunes qui s'est tenu à Nice en mars, offrant ainsi l'espoir de nouveaux traitements et d'une approche thérapeutique inédite. Car avec la montée en puissance de l'épigénétique, est en train de surgir un tout nouveau paradigme aux conséquences majeures pour la médecine : prendre de la hauteur sur les gènes et se focaliser non pas uniquement sur leur contenu (ce qu'ils signifient) mais également sur leur gestion et leur organisation.

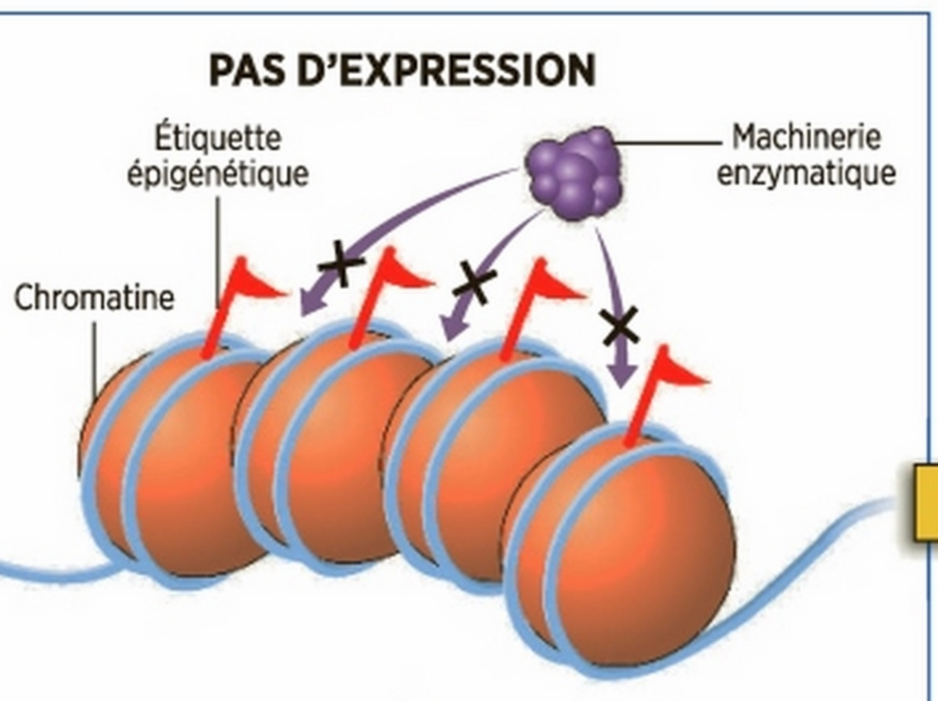
La troisième cause de morbidité en France

Prise séparément, chacune des maladies auto-immunes est une maladie rare avec un cas sur quelques dizaines de milliers de personnes. Mais, ensemble, elles représentent la troisième cause de morbidité dans les pays industrialisés après les cancers et les maladies cardio-vasculaires. Le terme rassemble sous une seule étiquette un cortège d'affections qui n'ont, en vérité, pas grand-chose à voir les unes avec les autres. Quoi de commun entre le lupus, la sclérose en plaques, le diabète et la maladie de Crohn ? Chacune concerne des organes différents, quelquefois le corps entier, et se manifeste par des symptômes très variables. Mais toutes ont un point commun : leur genèse. Car toutes découlent d'un dérèglement du système immunitaire. Alors que celui-ci est conçu pour réagir et défendre l'organisme uniquement en cas d'attaque extérieure, par un virus par exemple, il échappe à son programme et ne fait plus la différence entre son propre camp et « l'ennemi ». Le système immunitaire produit alors des lymphocytes et des anticorps qui attaquent les propres



Modifier l'expression des gènes

Le chromosome stocke, de façon ultracompacte, toute l'information contenue dans nos gènes



Lorsque des gènes n'ont pas à être transcrits en protéines, leur accès est empêché grâce à des étiquettes épigénétiques qui densifient la zone du chromosome où ils se trouvent.

cellules de l'organisme comme si elles lui étaient étrangères. Dès lors, les dégâts peuvent se limiter à un organe comme le foie pour certaines hépatites, le pancréas pour le diabète, la thyroïde pour la maladie de Basedow, ou s'étendre à tout l'organisme comme pour la polyarthrite rhumatoïde ou le lupus.

Chaque malade présente un profil particulier

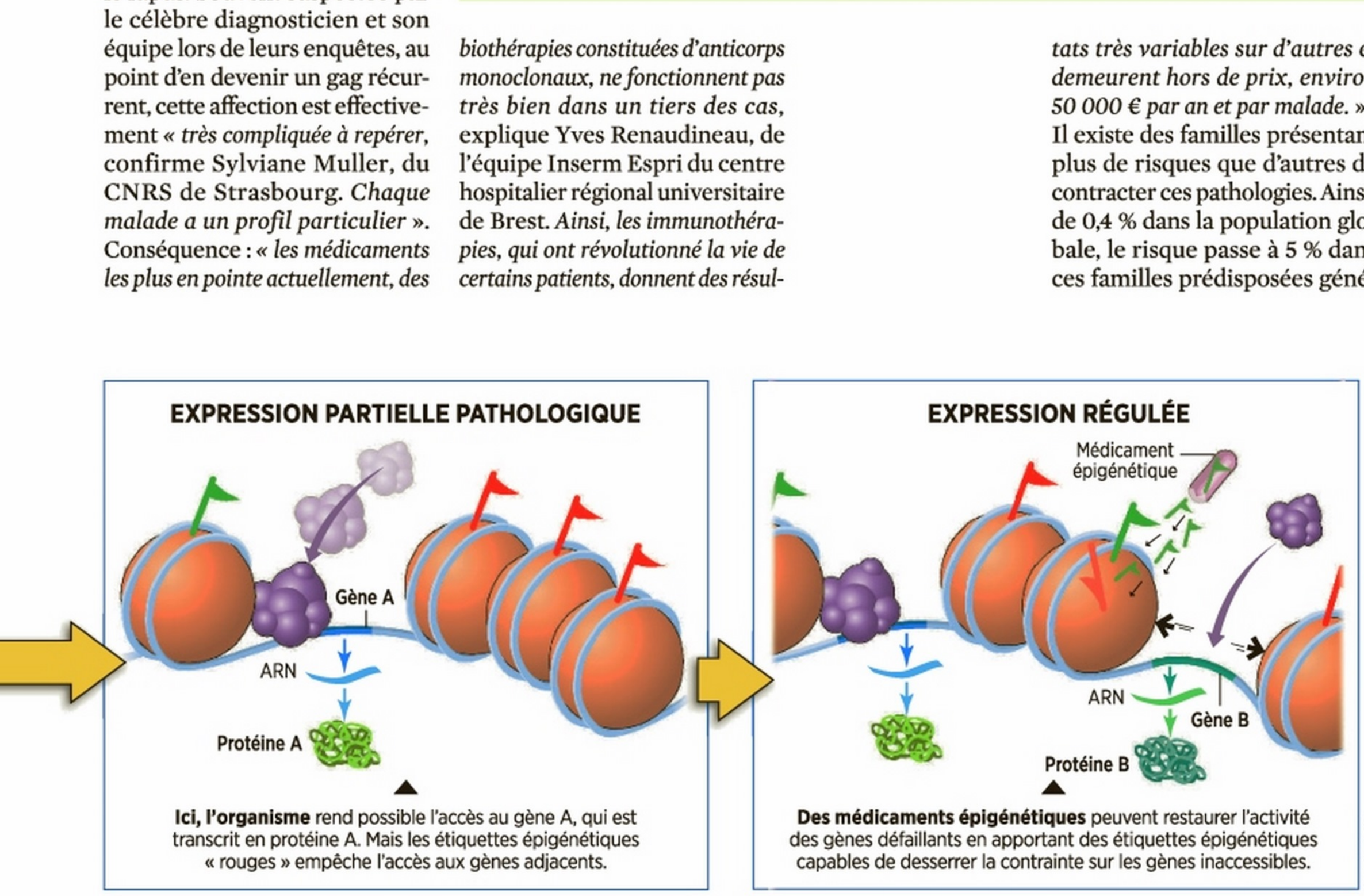
Mis à part cette origine commune, non seulement ces pathologies sont très différentes entre elles mais, de plus, une même maladie ne se manifestera pas de la même façon d'un patient à un autre. L'exemple le plus emblématique de cette singularité, du moins le plus connu car médiatisé par la série télévisée *Dr House*, est le lupus. Souvent suspectée par le célèbre diagnosticien et son équipe lors de leurs enquêtes, au point d'en devenir un gag récurrent, cette affection est effectivement « *très compliquée à repérer*, confirme Sylviane Muller, du CNRS de Strasbourg. *Chaque malade a un profil particulier* ». Conséquence : « *les médicaments les plus en pointe actuellement, des biothérapies constituées d'anticorps monoclonaux, ne fonctionnent pas très bien dans un tiers des cas*, explique Yves Renaudineau, de l'équipe Inserm Espri du centre hospitalier régional universitaire de Brest. *Ainsi, les immunothérapies, qui ont révolutionné la vie de certains patients, donnent des résultats très variables sur d'autres et demeurent hors de prix, environ 50 000 € par an et par malade.* »

Il existe des familles présentant plus de risques que d'autres de contracter ces pathologies. Ainsi, de 0,4 % dans la population globale, le risque passe à 5 % dans ces familles prédisposées géné- ▸

LES MARQUEURS ÉPIGÉNÉTIQUES

Une question d'empaquetage

Au cœur de ces nouvelles recherches, une question essentielle : comment s'organisent et se rangent les gènes ? *(Voir l'infographie ci-dessous.)* Il faut imaginer l'organisme comme un voyageur confronté à la difficulté de faire rentrer toute sa bibliothèque dans une minuscule valise ! En effet, comment empaqueter dans le noyau de chaque cellule, soit dans un volume de 5 micromètres (5 millièmes de millimètre) cubes un ruban d'ADN mesurant, si on met bout à bout ses 46 chromosomes, deux mètres de long ? La solution trouvée par l'évolution se résume en un mot : « compaction ». En multipliant les boucles d'enroulement autour de molécules spécifiques, les histones, elle parvient à condenser une molécule d'ADN de 4 centimètres de long en un chromosome de 10 micromètres, soit une compaction d'un facteur 4 000 ! Mais la médaille a son revers : comme le voyageur qui ne peut retrouver facilement le livre qu'il recherche enfoui au fond de sa valise pleine à craquer, tous les gènes ne peuvent pas être accessibles en permanence. La survie de l'organisme nécessite d'établir des priorités pour ne laisser exposés que les gènes indispensables. Et c'est précisément à ça que servent les « marques épigénétiques ». Ces diverses étiquettes chimiques (méthylation, phosphorylation, acétylation), dont une dizaine est décrite, viennent se « coller » à l'ADN ou aux histones, spécifiant les gènes à traiter en priorité en fonction de l'alimentation, de l'activité, des conditions environnementales.



ÉPIGÉNÉTIQUE ET CANCER

L'excès de marqueurs favoriserait les tumeurs

L'existence d'un lien entre l'épigénétique et les processus tumoraux était connue depuis quelques années. Lorsqu'un cancer se développe, les brins d'ADN sont en effet surchargés d'« étiquettes » épigénétiques (des groupes méthyle). Jusqu'à présent pourtant, impossible de dire — problème de la poule et de l'œuf— si ces dérèglements étaient une conséquence du cancer ou plutôt une cause. Pour la première fois, une étude semble avoir tiré les choses au clair. Des chercheurs de l'école de médecine Baylor (Houston, États-Unis) ont modifié des cellules souches embryonnaires de souris. Ils ont inséré près d'un gène naturel suppresseur de tumeurs (p16) une séquence « attrape-méthyle » pour voir si l'excès de méthyle était de nature à le désactiver et ils ont observé le résultat. Après la naissance, les souris ont été suivies durant 18 mois, jusqu'en milieu de vie. À cette date, 30 % d'entre elles avaient développé une tumeur alors qu'aucun des animaux témoins n'en souffrait. *« Comme si la méthylation prédisposait les tissus à l'implantation de tumeurs »*, concluent les chercheurs. Bien plus, la quantité de surméthylation peut être directement corrélée à la cinétique du développement tumoral : plus l'ADN d'un tissu est chargé en brins méthyle, plus le cancer se développe vite à cet endroit.

tiquement. Mais la génétique n'explique pas tout. Sinon, comment comprendre que de vrais jumeaux, qui partagent l'intégralité de leur bagage génétique, ne soient pas frappés des mêmes maux au cours de leur existence ? Et c'est là que l'épigénétique pourrait fournir les premiers éléments de réponse en introduisant un peu de lamarckisme — du nom du naturaliste français du XIXe siècle qui fut le premier à théoriser que l'environnement pouvait avoir un effet sur les espèces vivantes — dans le tableau. En effet, l'environnement aurait non seulement une influence sur les gènes — ou plus précisément sur leur expression— mais de plus celle-ci pourrait se transmettre d'une génération à une autre !

L'exemple le mieux documenté à ce jour remonte au terrible hiver 1944-1945 au cours duquel une famine impitoyable frappa toutes les villes de l'ouest des Pays-Bas.

Le patrimoine génétique peut être influencé

Les enfants des mères sous-alimentées ne furent pas les seuls à souffrir de rachitisme car cette affection fut retrouvée chez leurs petits-enfants. La famine — l'environnement — a ainsi provoqué des dommages dans le patrimoine génétique qui se sont répercutés sur plusieurs générations. Contrairement à ce que l'on a pu penser, ce n'est donc pas seulement le contenu du bagage génétique, les gènes, qui est transmis mais également la manière dont il est rangé et organisé *(lire l'encadré p. 75)*.

Cette nouvelle compréhension des maladies auto-immunes pourrait ouvrir la voie à de nouvelles thérapeutiques. En effet, les marques épigénétiques sont aux gènes ce que les Post-it sont aux graffitis muraux : elles s'enlèvent et se recollent facilement. Et cela change tout ! *« C'est une révolution dans l'approche des maladies ! »*, s'enthousiasme Yves Renaudineau. Car certaines pathologies pourraient ainsi ne pas être « gravées dans le marbre » génétique. *« Les facteurs épigénétiques pourraient même avoir une plus grande importance que les génétiques. Et si les maladies auto-immunes dépendent de tels marqueurs épigénétiques, cela signifie qu'elles sont réversibles. »* D'ailleurs, les médecins, et encore plus les malades, le savent bien : ces affections évoluent largement au fil du temps. Aux phases actives, les poussées, succèdent des phases de rémission où les douleurs sont en sommeil avant de repartir de plus belle à la suite d'un stress, d'une exposition aux rayons X ou même sans raison claire.

De là à envisager le traitement des maladies auto-immunes en rétablissant un étiquetage correct des gènes, il n'y a qu'un pas... qui a déjà été franchi pour certaines étiquettes *(voir l'infographie pp. 74-75)*. Car des médicaments épigénétiques existent déjà pour d'autres pathologies, principalement chez la souris mais pas seulement. Pour l'être humain, la chimiothérapie anticancer associe désormais des molécules chargées de supprimer l'une des étiquettes épigénétiques qui se trouvent en excès lors des processus tumoraux, en l'occurrence la méthylation de l'ADN.

Yves Renaudineau en est persuadé : l'épigénétique profitera au traitement des maladies auto-immunes. *« Elle conduira sous peu à de nouvelles thérapies, ou à une meilleure utilisation des thérapies actuelles. En tout cas, elle s'apprête à révolutionner le domaine »*, affirme le chercheur. Réponse dans une dizaine d'années. ■ **Hervé Ratel**

Y. RENAUDINEAU

« Si les maladies auto-immunes dépendent de marqueurs épigénétiques, cela signifie qu'elles sont réversibles »

Yves Renaudineau, enseignant-chercheur en immunologie au CHRU de Brest

Par le Dr Pierre Miquel

3 x

plus de risque de tuberculose active chez les personnes souffrant de cirrhose du foie. Une étude taïwanaise a suivi pendant dix ans 41 000 malades et 200 000 témoins. Compte tenu des principaux facteurs de risque (âge, alcoolisme, hépatite, diabète, cancer…), seuls l'alcoolisme et l'hépatite C sont corrélés significativement à la tuberculose. Des troubles de l'immunité expliqueraient ce lien.

American Journal of Epidemiology, 1er juillet2014

CARDIOLOGIE

Un lien possible entre densité osseuse et risque cardiaque

L'ostéoporose et l'insuffisance cardiaque ont-elles des facteurs favorisants communs ? C'est la question que pose une étude qui a suivi 14 000 sujets pendant plus de neuf ans (EPIC). Le risque d'insuffisance cardiaque sans pathologie coronarienne sous-jacente est d'autant plus grand que la densité minérale osseuse est diminuée à l'échographie du calcanéum (os du talon). Des résultats à vérifier et à expliquer.

Medscape, 9 juillet2014

APHP / COCHIN-VOISIN / PHANIE

Les nourrissons sujets à des coliques ont un risque accru de migraines plus tard.

PÉDIATRIE

Les coliques du nourrisson, un équivalent de la migraine

Les coliques du nourrisson sont des crises intenses et soudaines de pleurs provoquées par des douleurs violentes qui durent plus de trois heures par jour, au moins trois jours par semaine pendant trois semaines. Touchant 25 % des enfants en bonne santé, âgés de 2 semaines à 4 mois, elles sont bénignes mais restaient jusqu'alors inexpliquées, même si certains facteurs favorisants sont suspectés (intolérance au lactose, accumulation de gaz dans l'intestin). Or selon l'analyse récente de plusieurs études regroupant 2900 enfants et adolescents présentée au dernier congrès de l'American Headache Society, ces symptômes seraient des équivalents à la crise de migraine. Le risque de coliques est en effet deux fois plus important lorsque la mère souffre de cette affection. De même, la migraine observée dans l'enfance et l'adolescence est trois fois plus fréquente en cas d'antécédents de coliques. De nouvelles études sont nécessaires pour mieux identifier les nourrissons touchés et déterminer lesquels deviendront migraineux et à quel âge surviendront les premières crises.

Medscape, 3 juillet 2014

ENDOCRINOLOGIE

La main du diabétique est moins mobile

La « main diabétique » (cheiroarthropathie) est une limitation non douloureuse de la mobilité articulaire des mains, fréquente et souvent négligée. Selon une étude regroupant 1200 diabétiques de type 1, sa fréquence est de 66 % après trente ans d'évolution de la maladie. Elle est responsable d'une attitude en flexion des doigts associée à un épaississement de la peau. Un meilleur contrôle de la glycémie et la rééducation fonctionnelle sont les bases du traitement de cette complication invalidante.

Diabetes Care, juillet 2014.

PÉDIATRIE

Reconnaître les formes sévères du syndrome « pieds-mains-bouche »

Le syndrome pieds-mains-bouche correspond à l'éruption de petites vésicules au niveau de la bouche, des mains et des pieds chez un enfant de moins de 5 ans. La revue d'une vingtaine d'études montre que les formes sévères de cette infection virale généralement bénigne sont associées à certains signes cliniques et microbiologiques : fièvre supérieure à 37,5 °C pendant plus de 3 jours vomissements, somnolence, hyperglycémie et présence d'un virus du type entérovirus 71.

Scandinavian Journal of Infectious Diseases, juillet 2014.

SANTÉ PUBLIQUE

Attention à la pollution à l'ozone pour les seniors

Les données disponibles à ce jour, soit plus de 160 publications, confirment que — outre les enfants des populations urbaines pauvres —, les personnes âgées sont particulièrement sensibles aux effets néfastes des pics de pollution à l'ozone troposphérique (O_3), dit de basse altitude ou « mauvais ozone », formé à partir d'éléments précurseurs polluants produits par l'activité humaine. Le risque de surmortalité respiratoire et cardio-vasculaire est 66 % plus élevé chez les sujets âgés que chez les adultes jeunes. Il est également plus élevé (+40 %) chez les femmes que chez les hommes.

American Journal of Epidemiology, 1er juillet 2014

GOH CHAI TIN / AFP

les gens âgés sont particulièrement affectés par la pollution à l'ozone.

Virus Ebola : état d'alerte maximale

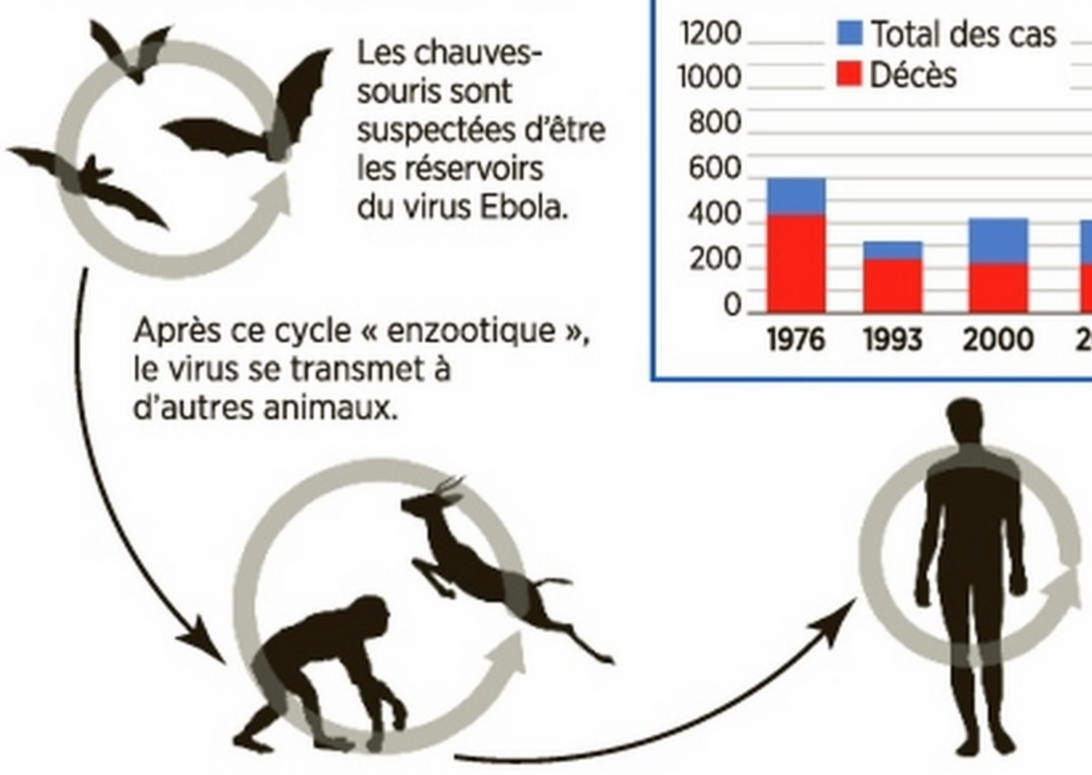
L'Afrique subit actuellement la crise la plus grave depuis la découverte du virus responsable de cette fièvre hémorragique, en 1976. Des traitements expérimentaux sont à l'étude.

D'UNE AMPLEUR SANS PRÉCÉDENT, l'épidémie d'Ebola qui frappe actuellement la Guinée, la Sierra Leone, le Liberia et le Nigeria est désormais « *hors de contrôle* » selon l'OMS qui a décrété au début du mois d'août, l'état d'« *urgence de santé publique de portée mondiale* ». Les quatre pays ouest-africains avaient avoué le 13 août leur impuissance à juguler la crise. Alors qu'en avril, elle semblait marquer le pas, l'épidémie entamée en décembre de l'année dernière, a repris sa mortelle progression. Provoquée par le virus Ebola de la souche Zaïre, la plus virulente et la première à avoir été identifiée en 1976*, la maladie menace désormais et pour la première fois d'essaimer sur d'autres continents. Depuis le début de l'année, cette fièvre hémorragique, l'une des plus dangereuses qui soit avec une mortalité oscillant entre 50 et 90 % des cas, a déjà tué plus de 1200 personnes en Afrique de l'Ouest, et l'OMS estime l'ampleur de l'épidémie « *largement sous-estimée* ». Interrogé mi-avril (n° 807) par *Sciences et Avenir*, Éric Leroy, directeur du Centre international de recherches médicales de Franceville (Gabon) s'était montré plutôt rassurant : « *L'épidémie de cette année n'est ni la plus mortelle, ni celle ayant duré le plus longtemps* », nous déclarait-il alors. Pourtant, quelques semaines plus tard, loin d'être jugulée, l'épidémie connaissait une nouvelle flam-

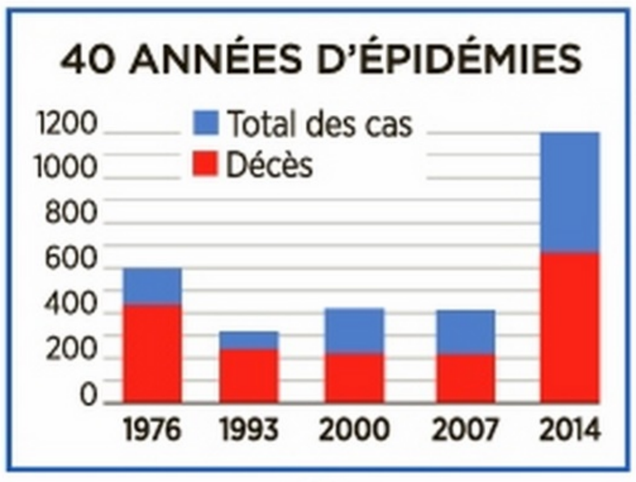
P. DE MELO MOREIRA / AFP

Infirmières et médecins, vêtus de combinaisons protectrices, rapatrient une personne infectée à Cascais (Portugal) le 14 août.

DE L'ANIMAL À L'HOMME

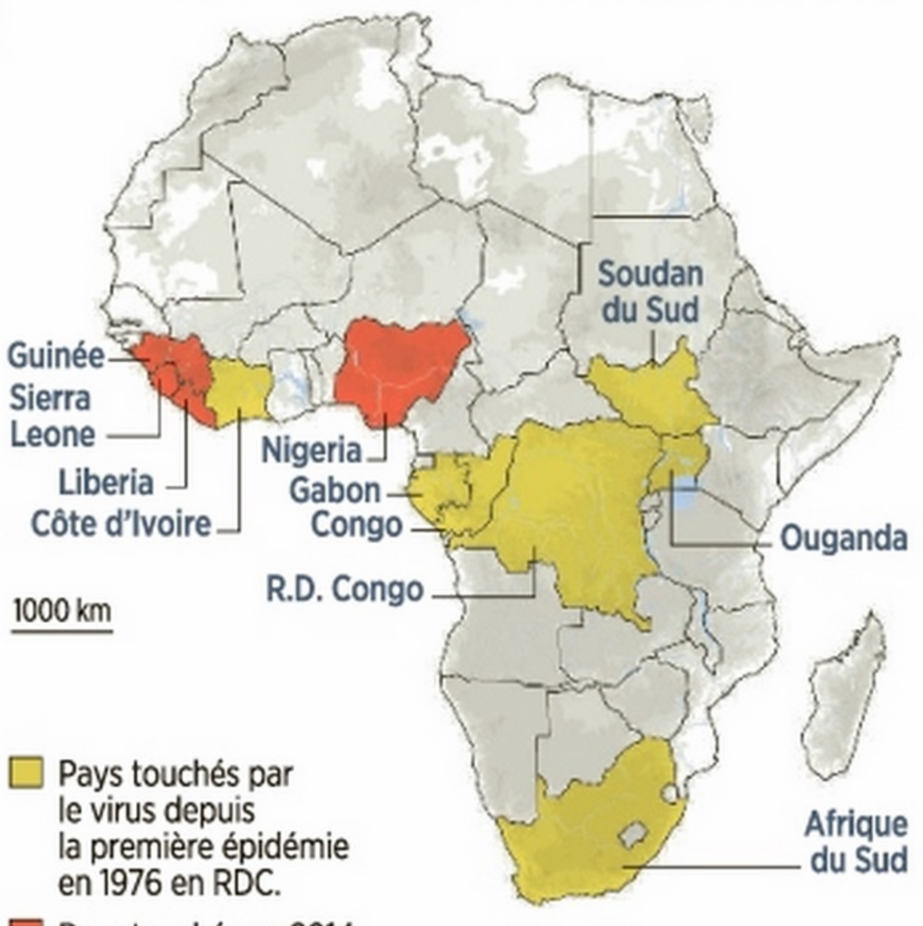


40 ANNÉES D'ÉPIDÉMIES



BETTY LAFON

DU CENTRE À L'OUEST AFRICAIN



bée, obligeant divers pays frontaliers de ceux touchés par le virus (dont le Sénégal, le Cameroun, le Kenya, la Guinée-Bissau et la Guinée équatoriale) à fermer leurs frontières. Pourquoi pareil retournement de situation ?

Il faut éviter tout contact avec une personne infectée

Éric Leroy explique que « *quelques malades auront échappé à la surveillance sanitaire et propagé le virus en dehors des zones de confinement. La zone épidémique s'étend désormais sur une distance de plusieurs milliers de kilomètres impossible à couvrir et à surveiller.* » Le spécialiste précise aussi que la propagation d'Ebola « *profite malheureusement des habitudes culturelles africaines en matière d'inhumation au cours desquelles le mort est pleuré des jours durant et abondamment touché par les proches. Or, tout contact avec une personne infectée est à risque.* »

Dans ces conditions, il est difficile d'adopter des mesures prophylactiques. D'autant que la communication avec la population de l'ouest du continent se révèle plus difficile qu'en Afrique centrale, d'une certaine façon plus proche culturellement de l'Europe et des États-Unis. « *À l'ouest, on a affaire essentiellement à une population animiste ou musulmane qui parle une langue vernaculaire. Sans oublier que toute la région est depuis un demi-siècle la proie de guerres civiles incessantes qui ont gravement mis à mal le tissu social* », résume Éric Leroy.

Maintenant que l'Afrique de l'Ouest se retrouve directement sous la menace, l'OMS et les instituts spécialisés (Pasteur...) semblent enfin avoir pris la mesure de l'épidémie. Plusieurs pistes médicamenteuses ont été relancées, dont celle du sérum curatif MZapp, un cocktail d'anticorps monoclonaux mis au point par la firme américaine Mapp Biopharmaceuticals. Des candidats vaccins préventifs sont également à l'étude mais, dans ce domaine, tout reste à faire. « *Jusqu'à la présente épidémie, les compagnies pharmaceutiques ne voyaient pas l'intérêt d'investir dans des traitements contre Ebola...* », se désole Éric Leroy. De plus, l'efficacité des traitements en cours d'expérimentation apparaît très variable. Si le MZapp donne des résultats positifs sur les deux tiers des patients, il doit impérativement être injecté dans les 48 heures qui suivent l'infection, soit avant l'apparition des symptômes, ce qui restreint considérablement son utilisation. Toutefois, face à l'urgence, le codécouvreur du virus, le Belge Peter Piot a appelé à tester en Afrique les traitements expérimentaux existants.

La suite ? impossible à prévoir. « *Nous nous trouvons à un niveau de développement de l'épidémie où trop d'inconnues sont en jeu* », résume Éric Leroy. Tout juste les autorités sanitaires continuent-elles d'estimer très faible, étant donné la surveillance mise en place, le risque que le virus débarque dans un pays industrialisé comme la France. ■ **Hervé Ratel**

55%
Le taux de mortalité de l'épidémie en cours au 19 août 2014. Un chiffre forcément « sous-estimé » pour l'OMS, faute de pouvoir comptabiliser toutes les victimes.

1976
L'année où le virus fut repéré pour la première fois sur les rives de la rivière Ebola, au nord du Zaïre (aujourd'hui République démocratique du Congo).

8 jours
La durée moyenne de la période d'incubation de la maladie durant laquelle la personne infectée n'est pas contagieuse. Aucun traitement ni vaccin n'existent à l'heure actuelle.

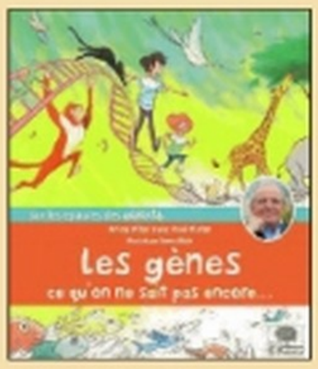
* Il existe quatre autres sous-types : Soudan, Côte d'Ivoire, Reston, Bundibugyo.

Dans le cerveau des autistes

Temple Grandin, Odile Jacob, 256 p., 23,90 €

Rendu célèbre par l'un des premiers récits documentant l'autisme de l'intérieur, *Ma Vie d'autiste*, Temple Grandin élargit le champ dans son nouvel ouvrage. Neurologie et génétique ont permis ces dernières années de mieux définir la maladie, comprendre ses causes ainsi que de poser de meilleurs diagnostics. Une véritable révolution que cette professeure de l'université du Colorado (États-Unis) nous invite à découvrir avec son regard si particulier. ■ **H. R.**

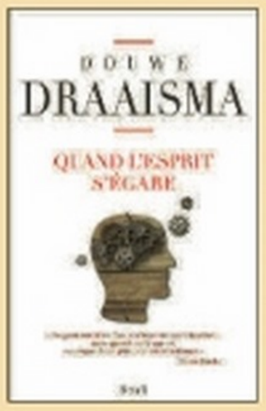
Les Gènes, ce qu'on ne sait pas encore...



Anna Alter avec Axel Kahn, illustré par Ewen Blain, Le Pommier, 45 p., 13 €

Loin du cours magistral, cette plongée au cœur de nos cellules en compagnie du généticien Axel Kahn saura titiller la curiosité des scientifiques en herbe en leur dévoilant ce que l'on sait de nos gènes, mais surtout ce que l'on ignore encore. Comment l'environnement influence-t-il nos gènes ? À quoi servent les 98 % d'ADN muet ? Une manière de montrer aux plus jeunes qu'il reste tellement à découvrir... et pourquoi pas de susciter des vocations. À partir de 7 ans. ■ **A. B.**

Quand l'esprit s'égare



Douwe Draaisma, Seuil, 459 p., 25 €

« *Merde et foutu cochon !* », s'exclamait la marquise de Dampierre lorsqu'elle accueillait ses invités. C'est grâce à ce cas, entre autres, que Gilles de la Tourette décrivit son syndrome en 1885. Comme lui, Parkinson, Alzheimer ou encore Asperger ont donné leur nom à des troubles du fonctionnement cérébral. Mais qui étaient ces hommes qui ont marqué la médecine ? L'auteur, professeur de théorie et d'histoire de la psychologie à l'université de Groningue (Pays-Bas), nous livre 13 portraits, humains et savoureux. Où l'on apprend par exemple qu'Alois Alzheimer fit un four en 1907 lors de la première présentation à ces confrères des lésions de la maladie qui allait porter son nom bien après sa mort. Documenté et enlevé. ■ **Elena Sender**

La Formule E entre en piste à Pékin

Le 13 septembre, en Chine, débute le premier championnat du monde de course automobile... 100 % électrique !

Par Franck Daninos

De loin, on pourra presque confondre les 20 monoplaces qui figureront sur la ligne de départ avec les traditionnels bolides de formule 1. Mais dès qu'elles mordront l'asphalte pour la première fois, le 13 septembre à Pékin, un son filant et aigu (80 décibels) — bien loin du rugissement caractéristique habituel (134 dB) — lèvera aussitôt le doute. Car ces nouveaux monstres des circuits ne seront pas dotés de moteurs thermiques mais... électriques. Sans émission polluante, alimentées uniquement par des batteries, les formule E, comme on les appelle, s'élanceront pour quarante minutes de course, poussant leur moteur aux limites de ses capacités pour atteindre des pointes de 225 km/h.

Pas de quoi détrôner les reines des circuits, certes, mais certains professionnels y voient le signe probant que les mentalités sont en train de changer dans les paddocks. Au-delà de la compétition sportive, les FE constituent en effet une vitrine et un laboratoire technologique qui, à terme, devraient profiter aux voitures électriques en série.

Dix métropoles, à l'instar de la capitale chinoise, ont d'ores et déjà donné leur feu vert pour organiser une étape du championnat au cours de la saison 2014-2015, parmi lesquelles Los Angeles, Londres ou Berlin. Paris a raté le départ, ne donnant pas suite aux propositions de la Fédération internationale de l'automobile (FIA), organisatrice de la compétition, mais les discussions se poursuivraient pour la prochaine saison. Contrairement aux grands prix de F1 qui se déroulent souvent dans des endroits isolés, les courses — beaucoup moins bruyantes et polluantes — se tiendront au cœur même des villes, sur des circuits de 3 à 4 kilomètres. L'objectif étant de drainer un public plus familial, correspondant aux usages habituels des voitures électriques, prévues pour des trajets plutôt urbains d'une cinquantaine de kilomètres, leur autonomie atteignant 200 kilomètres en moyenne, selon le modèle et le style de conduite. Car toutes, FE comprises, restent limitées par cette autonomie. Les pilotes devront donc changer de voiture à mi-parcours — c'est-à-dire au bout de vingt minutes — pour éviter la « panne sèche ».

10 étapes
dans 10 métropoles et 3 continents.

Durée des courses : **40 minutes**

Longueur des circuits : **de 3 à 4 km**

Vitesse de pointe : **225 km/h**

Toutes les écuries utiliseront la même voiture

Autre particularité de cette compétition atypique : toutes les monoplaces sont issues du même constructeur... français. Après avoir remporté l'appel d'offres lancé en 2012 par la FIA, c'est en effet Spark Racing Technology qui a conçu les formule E. Cette jeune entreprise basée dans l'Yonne s'est appuyée sur l'expertise de Renault Sport Technologies ainsi que sur celle d'un consortium d'industriels : les britanniques Williams et McLaren pour la batterie et le moteur, l'italien Dallara pour le châssis, et le français Michelin pour les pneus. Les dix écuries qui s'aligneront sur la piste (e.dams-Renault, Venturi Grand Prix, Audi Sport ABT, etc.) disposeront donc toutes du même engin pour cette première saison : la Spark-Renault SRT_01E, vendue 350 000 € pièce. C'est surtout le pilotage en course qui fera donc la différence. Mais dès la deuxième édition, le championnat

© WILLIAMS ADVANCED ENGINEERING EDIT

« La chimie, la configuration et le nombre exacts des cellules de la batterie demeurent confidentiels »

Okan Tur, directeur technique chez Williams Advanced Engineering, chargé de la conception des accumulateurs lithium-ion-polymère de la formule E.

La Spark-Renault SRT_01E, construite par une société française, équipera l'ensemble des dix écuries en lice pour la première saison du championnat de formule E.

FORMULA E / MICHELIN

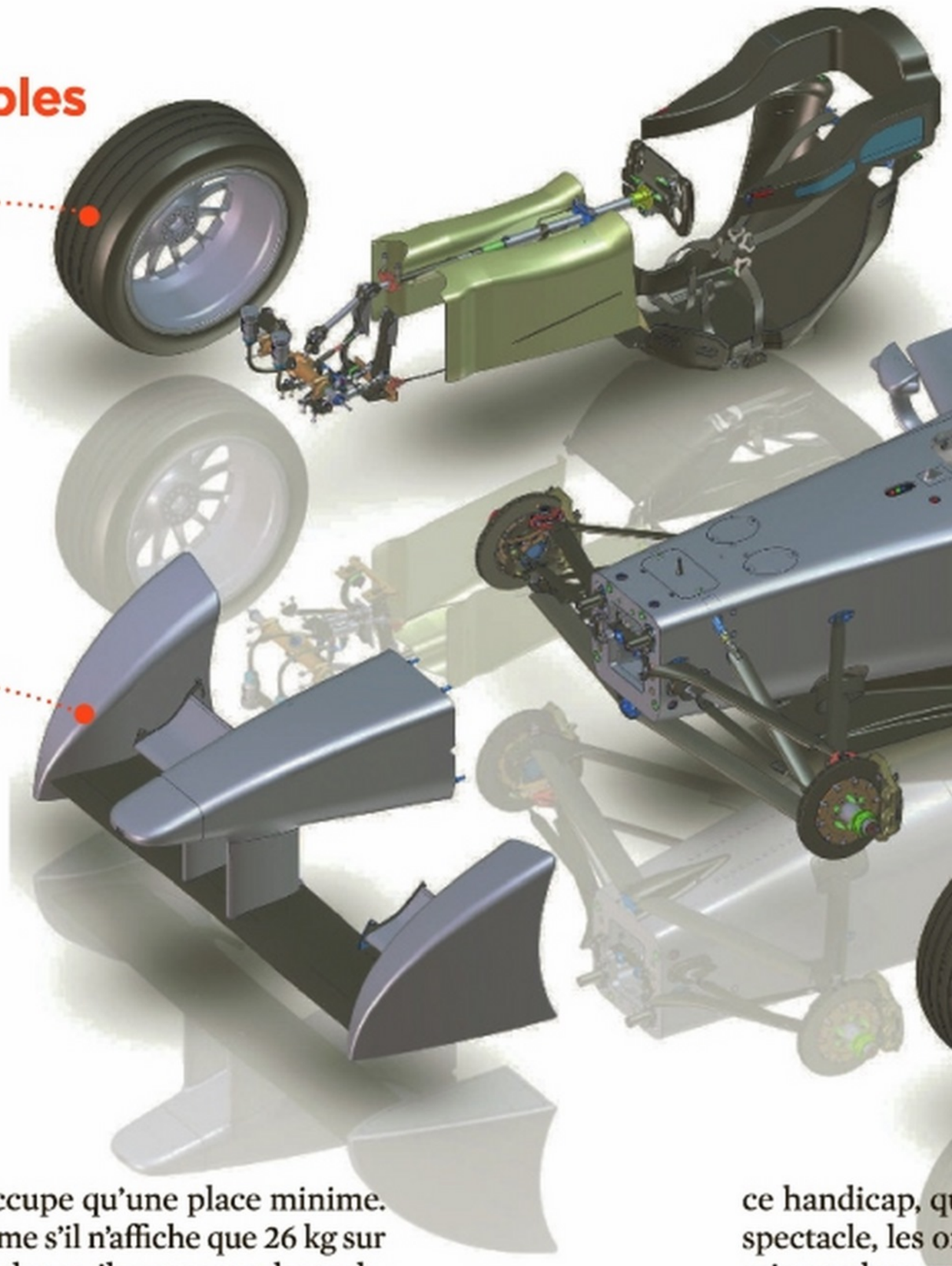
sera « ouvert », car chaque écurie développera son propre système de propulsion électrique.

Le centre névralgique de la Spark-Renault sera, on s'en doute, sa batterie. Il s'agit d'un accumulateur lithium-ion-polymère délivrant une énergie de 28 kilowattheures *(lire l'encadré p. 83)*. Certes, elle n'a rien d'extraordinaire en soi puisque c'est la même technologie qui équipe déjà les véhicules électriques « de ville » ou les batteries des téléphones mobiles. Mais Williams, en charge de sa conception, s'est efforcé d'embarquer un maximum d'énergie dans un volume et un poids minimaux. Sa densité énergétique est ainsi de deux à quatre fois supérieure à celle d'une voiture électrique usuelle. Il y aurait en outre près de 200 cellules, combinées à la fois en série et en parallèle. Pour l'heure, impossible d'en savoir davantage. « *La chimie, le nombre et la configuration exacts des cellules demeurent confidentiels*, explique Okan Tur, directeur technique chez Williams Advanced Engineering, *car nous souhaitons conserver un avantage compétitif pour la prochaine édition.* » Le culte du secret propre à la F1 semble avoir déjà imprégné la toute jeune formule E...

Le « pack batterie » pèse à lui seul 45 % du total

Comme dans les moteurs hybrides utilisés depuis 2011 en F1, la batterie est équipée d'un système de récupération d'énergie (KERS) (*lire* S. et A. *n° 805, mars 2014*). Il transforme une partie de l'énergie cinétique produite par les disques de freins en énergie électrique, redistribuée ensuite à la batterie. « *Les temps de freinage sont beaucoup plus courts que les temps d'accélération : l'énergie récupérée sera donc minime*, explique Christophe Chapelain, de Renault Sport Technologies, *mais la batterie se déchargera quand même un*

Les différences notables avec la formule 1



PNEUS

FE : Un seul type de pneus rainurés, optimisé pour toutes conditions météo. D'un diamètre de 18 pouces (45 cm), ils sont munis d'une puce RFID pour une meilleure traçabilité.

F1 : Selon l'humidité et la nature du bitume, une demi-douzaine de pneus de 13 pouces peut être utilisée. La gomme est plus ou moins tendre, et les sculptures plus ou moins prononcées.

DESIGN

FE : Dessinée pour favoriser les dépassements, la carrosserie engendre assez peu d'appuis aérodynamiques. Les roues avant sont carénées pour une meilleure pénétration dans l'air.

F1 : Le design privilégie l'adhérence de la voiture lors des virages, en raison des très grandes vitesses. Les ailerons avant et arrière permettent de « coller » à la piste.

peu moins vite. Ce qui pourra faire la différence... » Les pilotes connaîtront en permanence l'énergie dont ils disposent grâce à des capteurs installés sur chacune des cellules et l'écran situé sur le volant. D'autres paramètres seront enregistrés en temps réel, tels le voltage et la température. Le « pack batterie » contient ainsi près de 7 000 composants. Entouré d'une coque très dure pour des raisons de sécurité *(lire l'encadré p. 83)*, il pèse près de 360 kg — soit 45 % du poids total. En F1, l'ensemble du groupe propulseur (moteur, batterie et systèmes de récupération d'énergie) pèse 145 kg (21 % du poids total).

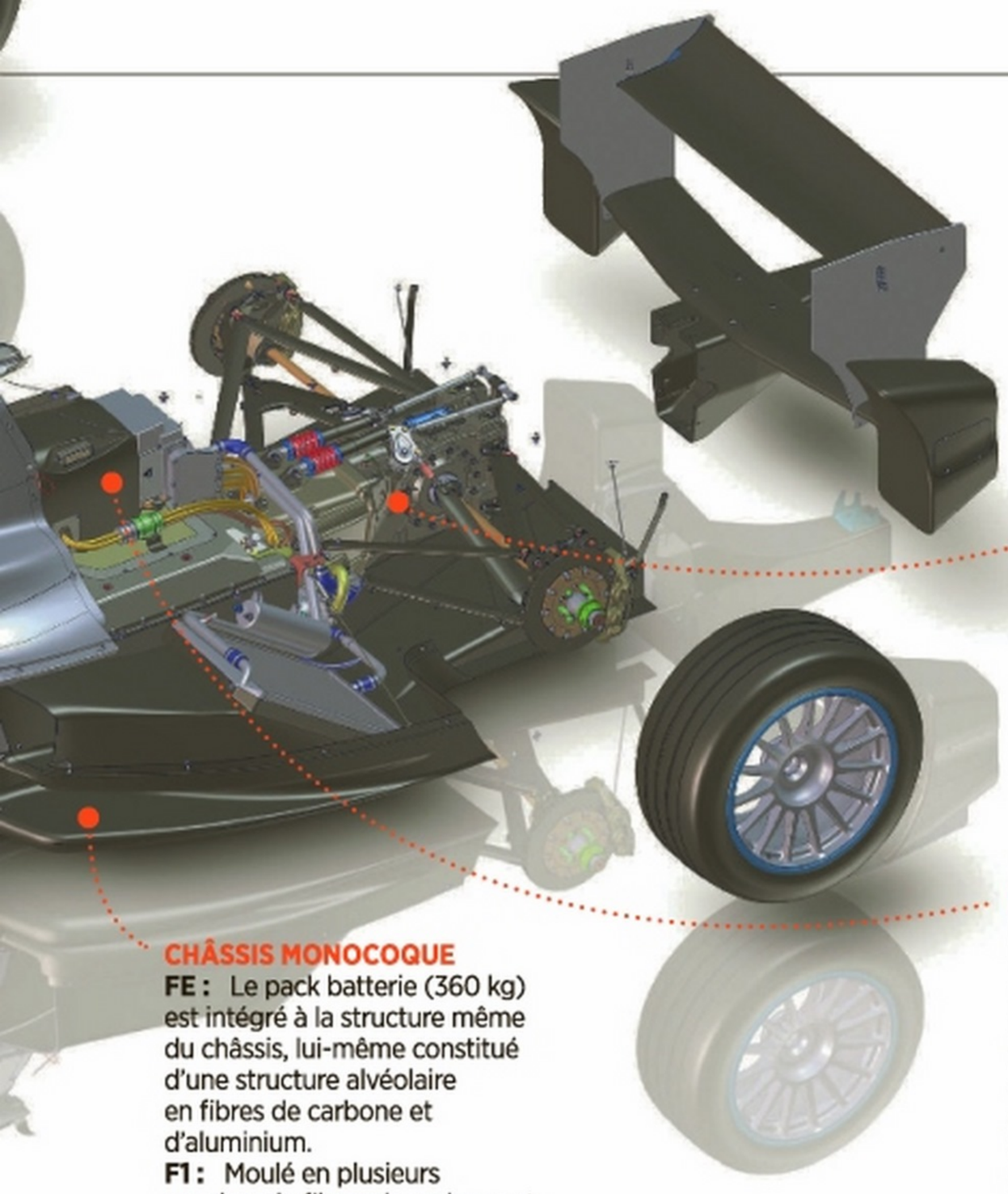
Vu le volume qu'il occupe, le pack batterie de la Spark-Renault a dû être intégré à la structure même du châssis pour devenir « porteur », contrairement aux F1 où c'est le moteur qui joue ce rôle. Le moteur électrique, quant à lui, n'occupe qu'une place minime. Même s'il n'affiche que 26 kg sur la balance, il repose sur des technologies de pointe qu'on retrouve aussi dans une F1 : un moteur synchrone à aimants permanents, dont le rotor est entraîné par des électroaimants au niveau de la partie fixe, le stator.

Une course interactive pour séduire un public jeune

« Tout en occupant moins de place qu'un moteur à rotor bobiné, il peut atteindre des régimes faramineux — jusqu'à 30 000 tours par minute », souligne Théophile Gouzin, directeur technique chez Spark Racing Technology. Sa puissance maximale de 200 kilowatts (270 chevaux) ne sera utilisée que lors des séances de qualification. Pendant les courses, la puissance sera limitée à 133 kW (180 ch), sans quoi la batterie ne tiendrait qu'une dizaine de minutes. Pour pallier ce handicap, qui peut nuire au spectacle, les organisateurs ont mis en place un système inédit. Les internautes pourront voter avant le début d'une course pour choisir le pilote à qui ils souhaitent donner un « fan boost » pendant 2,5 secondes. Ce « bonus » lui fournira 67 kW supplémentaires — pour doubler dans un virage par exemple. La compétition sera ainsi plus ludique et interactive. Du jamais vu en automobile, l'objectif étant de séduire un public jeune et « connecté ».

Dernière innovation importante : les pneus. Ils chausseront les formule E dans toutes les conditions météo — sèches, humides ou pluvieuses. Des mois de tests ont été nécessaires pour trouver la sculpture et la gomme optimales. Avec ces pneus uniques, fini les passages incessants au paddock, hormis celui où les pilotes changeront de véhicule. Plus grands (18 pouces,

SPARK RACING TECHNOLOGY



MOTEUR
FE : Très silencieux, le moteur électrique synchrone à aimants permanents développe une puissance maximale de 270 ch. Il permet de passer de 0 à 100 km/h en 3 s pour une vitesse de pointe de 225 km/h.
F1 : Les nouveaux moteurs V6 hybrides turbocompressés fournissent une puissance de 760 ch. Le passage de 0 à 100 km/h s'effectue en 1,9 s pour une vitesse de pointe de 365 km/h.

ÉNERGIE
FE : Le moteur électrique est alimenté par une batterie lithium-ion-polymère délivrant 28 kWh. Elle est, en partie, rechargée par un système de récupération de l'énergie cinétique (KERS).
F1 : L'énergie provient surtout du moteur thermique, mais aussi d'un système de récupération d'énergie thermique au niveau des pots d'échappement et d'un KERS.

CHÂSSIS MONOCOQUE
FE : Le pack batterie (360 kg) est intégré à la structure même du châssis, lui-même constitué d'une structure alvéolaire en fibres de carbone et d'aluminium.
F1 : Moulé en plusieurs couches de fibres de carbone et d'aluminium, le châssis est porté par le moteur dont le poids avoisine la centaine de kilos.

proches d'une voiture standard) que des pneus de F1, ils seront équipés d'une puce RFID, activable et interrogeable à distance par radio. Les organisateurs s'assureront ainsi que les écuries utilisent bien les pneus autorisés. « *Le pilotage et la stratégie de course seront très différents d'un Grand Prix de formule 1*, relève Nicolas Prost, de l'écurie e.dams-Renault (et fils du pilote Alain Prost). *Il faudra toujours tenter des dépassements dans les virages et accélérer tôt à leurs sorties. Mais les courses se joueront sur la gestion de l'énergie. Un peu comme un marathon, pour ne pas s'effondrer à la fin. La vitesse moyenne optimale devra donc être trouvée, tout comme la meilleure façon d'utiliser le système de récupération d'énergie.* » Même si les gigas de données collectés lors des essais ont fourni des éléments de réponse, seuls l'expérience et le savoir-faire des pilotes seront riches d'enseignements.

POUR EN SAVOIR PLUS

Site officiel du championnat de Formule E
▸ http://www.fiaformulae.com

Le site de Spark Racing Technology :
▸ http://www.sparkracingtechnology.com/fr

Mais une autre compétition a déjà débuté, purement technologique celle-là. Car le regard des écuries se porte sur la deuxième édition, où elles aligneront leurs propres bolides. Tout sera optimisé, réinventé : de l'aérodynamisme aux circuits de refroidissement en passant par le moteur et, bien sûr, les batteries — encore plus puissantes et plus légères, sans doute au moyen d'une nouvelle chimie. Les constructeurs espèrent que les innovations à venir seront développées à une échelle industrielle, comme ce fut le cas avec le moteur turbo grâce à la F1. Encore faut-il que ce championnat rencontre un succès populaire, médiatique… et donc financier. Pour le moment, le budget d'une écurie de formule E n'est en effet que de 4 à 5 millions d'euros… contre une centaine pour la discipline reine. ■

SÉCURITÉ

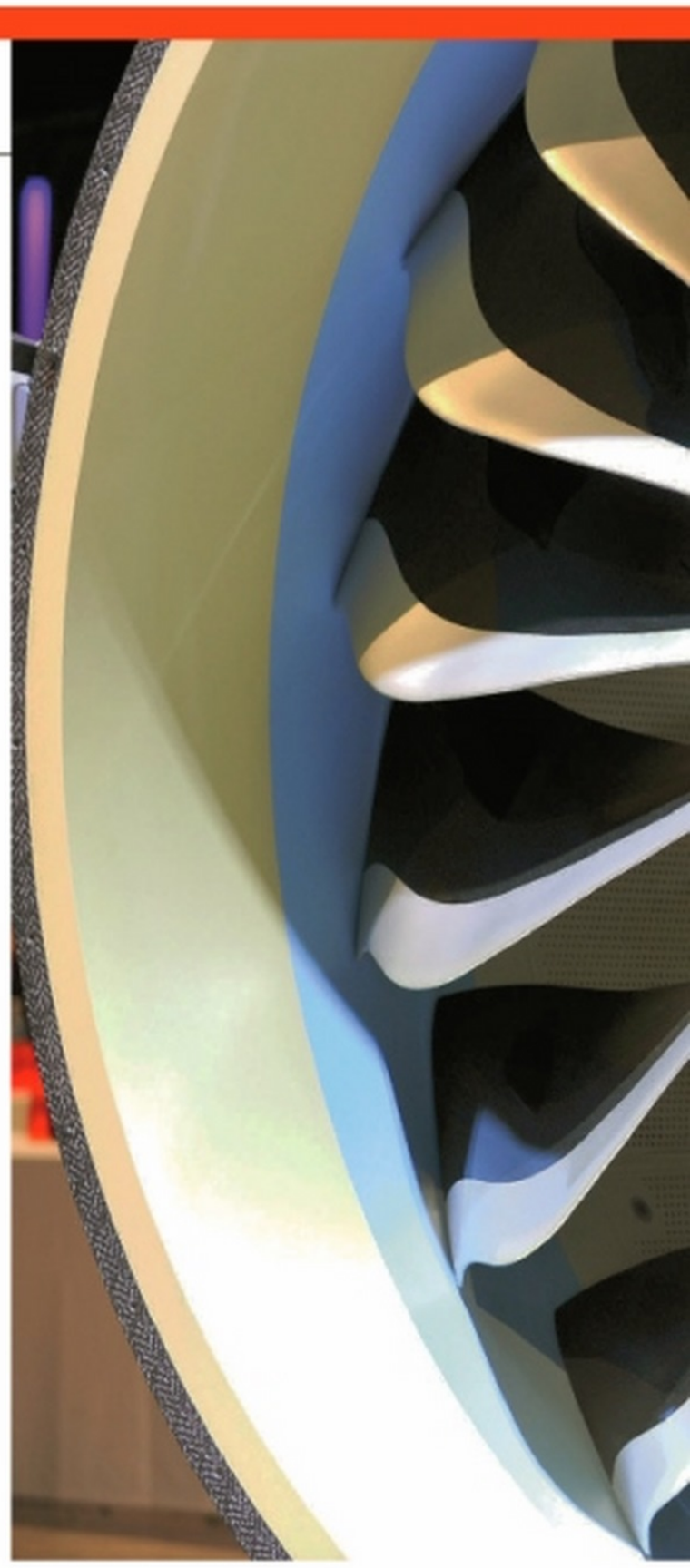
Une batterie sous haute surveillance

La sécurisation des batteries lithium-ion-polymère a fait l'objet d'une attention toute particulière en raison des risques d'incendie. Leur fonctionnement est en effet difficile à maîtriser. Deux phénomènes peuvent provoquer un incendie : un court-circuit ou une surchauffe. Un court-circuit peut se produire à la suite d'un choc très violent, susceptible d'introduire un élément métallique dans la batterie. Celle-ci a donc été entourée d'une coque en fibre de carbone et de Zylon, un polymère ultrarésistant et très stable thermiquement, utilisé pour la confection de gilets pare-balles. Cette coque a été soumise à des essais de choc (crash tests), ainsi que des tests de résistance aux flammes et à la pénétration de clous.
Pour parer aux risques de surchauffe, et donc d'auto-inflammation, la batterie utilise un liquide diélectrique, non conducteur, et est équipée d'un système de refroidissement qui stabilise la température des cellules entre 50 et 60 °C.

WILLIAMS ADVANCED ENGINEERING

Des pales de réacteur tissées sur un métier Jacquard

Le groupe français Safran inaugure une usine permettant de tisser en 3D des fibres de carbone légères et ultrarésistantes. Un procédé révolutionnaire.



Un alignement de près de 30 métiers à tisser Jacquard, des milliers de bobines qui déroulent des kilomètres de fil, des morceaux de tissu qui s'empilent en attendant la découpe. Vision nostalgique d'une époque révolue, celle de la France du XIXe siècle et de ses ateliers textiles ? Pas du tout. C'est au contraire ce à quoi ressemblera l'usine ultramoderne du groupe Safran qui doit être inaugurée ce mois de septembre à Commercy (Meuse). Le géant français de l'aéronautique y produira les aubes de soufflantes, c'est-à-dire ce que l'on nomme communément les « pales » montées sur la grosse « hélice » située à l'avant de chaque réacteur d'avion. Elles équiperont le futur moteur LEAP dont la mise en service est prévue en 2016 sur l'Airbus A320neo, puis en 2017 sur le Boeing 737 MAX et le C919 du chinois Comac.

Mais, petite particularité de ces pièces au profil aérodynamique complexe : elles ne seront plus forgées en titane, mais tissées avec des fils de carbone, sur un métier semblable à celui inventé par le Français Joseph-Marie Jacquard en… 1801 ! Un saut dans le temps de plus de deux cents ans qui a conduit Safran à une véritable rupture technologique, mise au point par Bruno Dambrine, un ingénieur du groupe spécialiste des matériaux composites. Ce procédé baptisé « tissage 3D » a permis de gagner pas moins de 150 kg par rapport à une soufflante en titane.

Pour bien comprendre l'importance d'une telle innovation, il faut revenir à sa source, dans les années 1980. À l'époque, les aubes sont systématiquement fabriquées à partir d'alliages de titane, un matériau particulièrement résistant et rigide, tou-

27 métiers
dans l'usine de Commercy (Meuse)

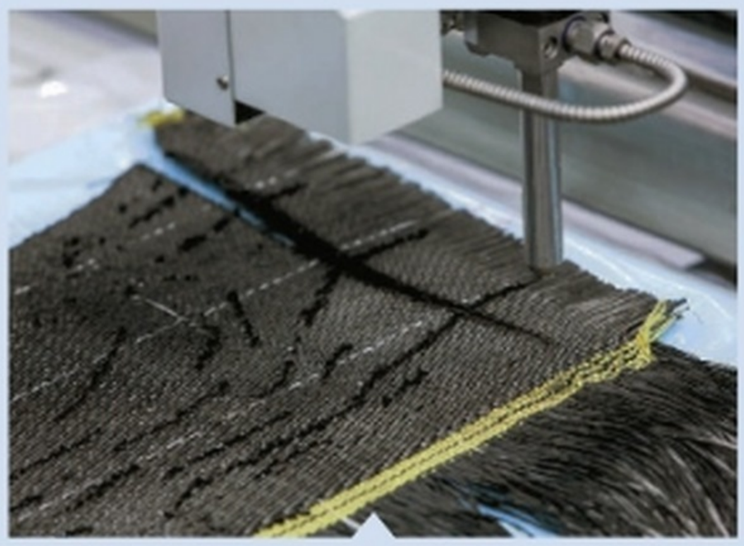
50 %
de gain de masse sur une aube de même dimension, soit 150 kg par moteur

70 à 78 cm
la taille d'une aube selon les versions du moteur LEAP

Six étapes pour réaliser une aube

Plus de 5000 fils de carbone sont nécessaires pour tisser une aube.

Ces fils de carbone sont placés dans les lisses qui effectuent le tissage.



Les bordures tissées de l'aube sont découpées grâce à un jet d'eau à forte pression.

ÉRIC DROUIN/SAFRAN

jours en service aujourd'hui sur la majorité des soufflantes. Mais pour gagner en poids — et donc en consommation —, les motoristes cherchent à le remplacer par un matériau plus léger sans pour autant perdre ses qualités mécaniques. Le britannique Rolls Royce est alors le premier à se tourner vers des pales en composite stratifié pour son moteur RB211. Le composite est un empilement de couches de tissu en fibre de carbone collées entre elles par une résine époxy très dure.

Le futur moteur LEAP sera équipé d'aubes tissées sur des métiers Jacquard. Une technologie développée, en collaboration avec l'américain Albany, par le français Safran dans son usine ultramoderne de Commercy (Meuse).

Mais un simple volatile manque alors ruiner le prestigieux groupe britannique ! En effet, lors des tests de certification, les moteurs doivent passer par l'épreuve dite de l'ingestion d'oiseau, qui simule l'aspiration d'un animal dans les pales de soufflantes. Un incident redouté par les pilotes, car il peut conduire à la perte du moteur et à un atterrissage d'urgence, comme cela s'est produit pour un Airbus A320 qui parvint à amerrir sur le fleuve Hudson aux États-Unis en 2009, après que ses moteurs eurent ingéré des bernaches du Canada. Le test consiste donc, à l'aide d'un canon pointé sur la soufflante à plein régime, à tirer un oiseau mort de 3 kg minimum. Or, les pales en composite du Rolls Royce RB211 n'y ont pas résisté...

La technique stoppe tout départ de fissure

« Le point faible de ce matériau est en effet le risque de "délaminage". En cas de choc, si la résine se fend, elle ne retient plus les couches de tissu entre elles : celles-ci s'ouvrent en deux sur toute la longueur de l'aube », explique Bruno Dambrine. À l'époque, seule la nationalisation du groupe par la Première ministre d'alors, Margaret Thatcher, permit de sauver Rolls Royce d'une faillite certaine.

Parvenant à maîtriser le problème, le motoriste américain GE lance en 1995 le plus gros moteur du monde, le GE90, destiné au Boeing 777 et équipé de pales en matériau composite stra- ▶

Après le tissage, une résine durcissante est coulée dans l'aube placée dans un moule.

Une fois la résine solidifiée, l'aube est extrêmement rigide, légère et résistante à la délamination.

◀ **Dernière étape, une protection en titane** est collée sur le bord d'attaque. L'aube est alors très résistante à l'abrasion.

É. DROUIN - P. STROPPA/SAFRAN ET © SCOTT GABLE/CAPA PICTURES/SAFRAN

UN TISSAGE ULTRAPRÉCIS

5000 fils de carbone contrôlés par ordinateur

Le métier à tisser Jacquard développé par le groupe français Safran et l'américain Albany International Corp. est entièrement contrôlé par ordinateur. Celui-ci commande une machine qui pilote des milliers de lisses, sortes de longues tiges percées d'un œillet dans lequel passe un fil de carbone. C'est le déplacement de ces lisses de manière très précise qui effectue les différents motifs de tissage voulus — une dizaine au total. Plus de 5 000 fils de carbone, passant chacun dans un œillet, alimentent le métier. En faisant varier les épaisseurs et les motifs, le tissage produit la forme de l'aube. Les bouts de fils qui dépassent sont alors découpés par un jet d'eau sous forte pression. Puis le tissu passe dans un moule dans lequel est injectée de la résine liquide à 180 °C, qui occupe tous les espaces libres entre les fils de carbone. En refroidissant, elle durcit pour former l'aube « brute », sur laquelle il ne restera plus qu'à procéder aux finitions. Enfin, une protection en titane sera collée sur le bord d'attaque de la pale pour empêcher l'érosion.

SAFRAN

Une vue détaillée révèle des motifs de tissage complexes, adaptés aux contraintes que doivent supporter les différentes parties de l'aube.

tifié. Mais ce procédé ne convient pas à des soufflantes plus petites, car la réduction de taille de l'aube induit son amincissement. Or, les tissus ont, eux, toujours la même épaisseur. Conséquence : une aube moins épaisse aura moins de plis de tissu et sera trop fragile.

De son côté, Bruno Dambrine planche sur une alternative. Et la solution commence à faire son chemin dans son esprit : « *Des fibres de carbone tissées dans tous les axes et toute l'épaisseur de l'aube permettent de stopper tout départ de fissure dans la résine* », pense-t-il. L'ingénieur français enchaîne alors calculs et simulations, testant virtuellement les propriétés mécaniques de différents motifs de tissage et d'entrelacements de fibres. Mais après cette validation du concept, reste un problème de taille : comment faire ? La solution vient au cours d'une sortie à la voile avec Dominique Coupé, un collègue ingénieur textiles. Selon ce dernier, il faut tout simplement… un métier Jacquard ! Les deux hommes vont alors à la rencontre des industriels du textile de la région lyonnaise, terre de tradition des soyeux, avec une question simple : peut-on tisser des fibres de carbone ? La réponse est lapidaire : impossible.

Dominique Coupé repère alors une petite société américaine, Albany, installée dans le New Hampshire. Cette fois, la réponse est oui ! Et selon Albany, le métier Jacquard permet bien de tisser des fibres de carbone, et en trois dimensions. Safran a effectivement besoin d'avoir recours à la 3D pour gérer des épaisseurs différentes. Le pied de l'aube doit être particulièrement épais et résistant, à l'inverse de la pointe, profilée et mince. Le procédé consiste donc à tisser entre elles plusieurs épaisseurs de tissu *(lire l'encadré ci-dessus)*.

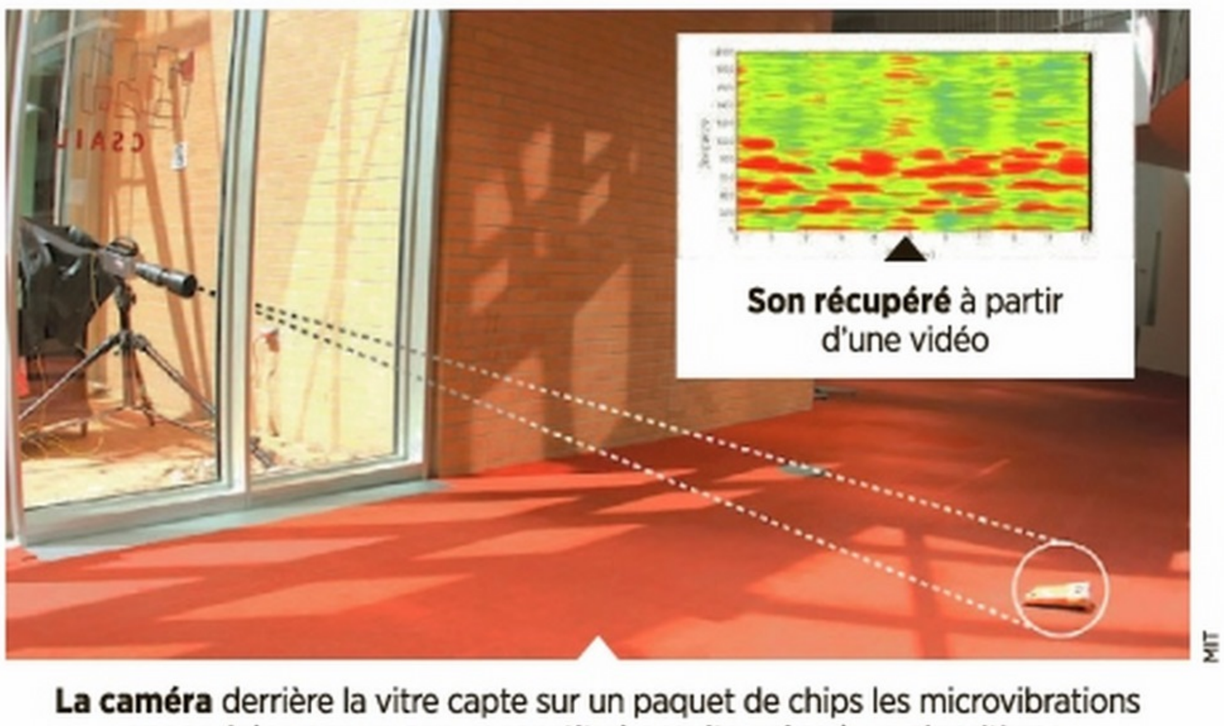
Le recours à la 3D permet de gérer plusieurs épaisseurs différentes

Mieux encore, il faut panacher les motifs de tissage pour obtenir des propriétés mécaniques variables selon les contraintes exercées sur les différentes parties de l'aube. Ce procédé s'adapte également à d'autres pièces. Le carter du LEAP, ce large anneau qui entoure la soufflante pour canaliser le flux d'air et retenir les éventuels débris d'aube pour qu'ils n'endommagent pas l'avion, sera lui aussi tissé. Sur l'Open Rotor, moteur en cours de développement — prévu pour 2030 — dont la soufflante n'est plus carénée *(lire* S. et A. *n° 798, août 2013)*, les aubes seront également tissées. Le LEAP équipé de cette aube tissée est en cours de certification auprès de l'EASA (Agence européenne de sécurité aérienne) et de la FAA (Administration de l'aviation civile américaine). Bruno Dambrine se veut confiant, même s'il a toujours en tête les déboires de Rolls Royce : pas question de voir une décennie de travail ruinée par une oie du Canada ! ■

Olivier Hertel

Les chips ont des oreilles

Une équipe du MIT est parvenue à reconstituer un son en filmant les microvibrations qu'il provoque sur un objet.



La caméra derrière la vitre capte sur un paquet de chips les microvibrations engendrées par un son, reconstitué ensuite grâce à un algorithme.

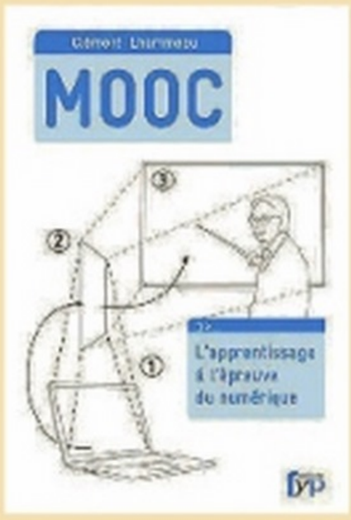
ON N'ARRÊTE PAS LE PROGRÈS, surtout en matière d'espionnage. En effet, le MIT (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, États-Unis) sait désormais écouter des conversations avec... une caméra filmant des objets inertes. Ce véritable « microphone visuel » exploite les ondes sonores qui, en altérant la pression de l'air, provoquent dans l'environnement des microvibrations indétectables à l'œil nu, de l'ordre du dixième de micromètre. Les chercheurs ont utilisé une caméra haute vitesse Phantom V10 pour capter ces vibrations sur une plante, un emballage de chips, une théière, etc., exposés à une voix humaine ou à de la musique diffusées par des haut-parleurs. Dans une variante de l'expérience, la caméra a même été placée derrière une vitre insonorisée.

Sur une image numérique, les vibrations se traduisent par un déplacement des pixels. Un algorithme analyse alors ce déplacement, son amplitude comme son orientation, pour reconstituer les ondes sonores qui l'ont provoqué. Après un passage par divers filtres pour le « nettoyer », le son d'origine est bel et bien restitué. La qualité du résultat dépend toutefois de plusieurs paramètres, tels la distance et l'optique de la caméra, l'usage du zoom, le volume sonore. Une caméra haute vitesse est indispensable mais avec un appareil standard, il reste possible de connaître le nombre de personnes qui parlent et leur sexe.

Cette technologie pourrait connaître un bel avenir aux mains de la police scientifique ou en matière d'espionnage. Ce que les chercheurs admettent, tout en faisant remarquer qu'elle permet aussi d'en apprendre plus sur les propriétés des matériaux et de les visualiser. ■ **Arnaud Devillard**

Livres
High-tech

MOOC. L'apprentissage à l'épreuve du numérique



Clément Lhommeau, Fyp éditions, 224 p., 20 €

Innovation ou modernisation d'anciennes pratiques ? Effet de mode ou évolution de fond ? Ces questions, que posent les « massive open online courses », les « cours en ligne ouverts à tous » apparus en 2008, trouvent une réponse complète dans ce livre. Cumulant les ambitions de l'enseignement sur Internet et des universités ouvertes, les MOOC mobilisent de plus en plus d'établissements et engendrent un véritable marché. ■ **A. D.**

Pour tout résoudre, cliquez ici. L'aberration du solutionnisme technologique

Evgeny Morozov, Fyp éditions, 358 pages, 22,50 €

C'est un exercice *a priori* périlleux que d'ironiser sur Internet sans paraître technophobe. Mais l'auteur ne s'en prend pas tant aux technologies qu'à une véritable idéologie faisant d'Internet la clé du fonctionnement d'à peu près tout : entreprise, gestion, gouvernement, politique... Apportant des solutions même là où il n'y a pas de problèmes ! Un livre poil à gratter souvent hilarant mais jamais gratuit, car étayé par une solide réflexion et de nombreux exemples. ■ **A. D.**

Une Puce dans la tête

Dorian Neerdael, Fyp éditions, 160 p., 16,50 €

Loin d'être purement technologique, l'ouvrage de Dorian Neerdael, diplômé en philosophie de l'Université libre de Bruxelles, dresse un historique des interfaces cerveau-machine tout en interrogeant les enjeux. Ce qui est bien le moins quand il s'agit d'implanter des puces dans le cerveau humain ! Utilisées à l'origine dans un cadre essentiellement médical, ces technologies nourrissent aujourd'hui le fantasme de « l'homme augmenté ». Mais pour quels intérêts et à quel prix ? ■ **A. D.**

CONTEXTE Khlao, un éléphant mâle star du grand écran pour avoir tourné dans *Alexandre* en 2004, a été retrouvé empoisonné en juillet dans le parc naturel d'Ayutthaya en Thaïlande, les défenses sciées.

Comment lutter contre le braconnage ?

ENVIRONNEMENT Le hasard des dates a voulu que la revue américaine *Science* publie vendredi 25 juillet un article « coup de poing » sur le braconnage au lendemain de la découverte du cadavre empoisonné de Khlao, un célèbre éléphant mâle de 50 ans tué pour ses défenses dans--- un parc de Thaïlande. Ce long texte, signé par 10 auteurs issus de différentes administrations américaines, s'appuie sur de nombreux rapports pour montrer comment le braconnage et le déclin des populations d'animaux sauvages ne sont que la partie émergée d'un iceberg aux immenses conséquences sur les conflits humains. L'article rappelle en préambule que la chasse n'est pas, comme dans de nombreux pays riches, qu'une pratique de loisir. Pas moins de 15 % de la population mondiale dépend d'elle pour sa survie. La chasse et la pêche représentent la première source de protéines pour un milliard de personnes habitant dans les régions les plus pauvres de la planète. Et à l'échelle du globe, le prélèvement d'animaux sauvages sur les terres comme dans les mers représente un commerce estimé à 400 milliards de dollars par an. Ainsi, la corne de rhinocéros se monnaie aujourd'hui 60 000 à 100 000 dollars (45 000 à 75 000 €) le kilo.

C'est principalement pour ses prétendues vertus médicinales que cet appendice fait l'objet d'une forte demande en Asie. Un marché lucratif qui attire des groupes actifs dans la guérilla et des syndicats du crime du monde entier. Parmi eux, les tristement célèbres islamistes nigérians de Boko Haram et somaliens d'Al-Shabbaab trouvent dans ce pillage de la nature les moyens de financer leur lutte armée. Et c'est un cercle

JOSEPH OKANGA/REUTERS

Une saisie de plus de 300 défenses d'éléphants, exposée à Mombasa, au Kenya, en juin 2014.

CONTEXTE Huit ans après la mort de l'ancien agent russe du KGB Alexandre Litvinenko, le gouvernement britannique a annoncé début août l'ouverture d'une enquête sur son empoisonnement au polonium 210.

Peut-on détecter du polonium 210 huit ans après ?

TOXICOLOGIE C'est un poison au moins 250 000 fois plus puissant que le cyanure qui aurait provoqué la mort, en novembre 2006, de l'ex-agent russe Alexandre Litvinenko, réfugié au Royaume-Uni. Le polonium 210 a en effet une radioactivité jusqu'à 10 000 fois supérieure à celle d'autres éléments radioactifs. Quelques microgrammes suffisent à tuer un homme. Mais en retrouver des traces dans la dépouille du transfuge russe huit ans après sa mort, comme l'envisage l'enquête que vient d'ouvrir le Royaume-Uni, sera difficile. Le polonium attaque en effet des organes tels le foie, la rate et l'estomac, ainsi que la moelle osseuse, qui produit les globules blancs, cellules du système immunitaire. Lorsqu'il ne reste que les os et des résidus de moelle, cela limite les recherches. Cependant, lorsqu'un corps est contaminé au polonium, la moitié de la radioactivité est concentrée dans le squelette. Et cette radioactivité baisse de 50 % tous les 138,4 jours. *« Mais la vitesse d'élimination du polonium par l'organisme est beaucoup plus lente, c'est pourquoi on peut en retrou-*

vicieux qui se met en place : plus la ressource animale se raréfie, plus les prix montent, et plus la pression s'accroît sur la faune. Et pour la maintenir, les braconniers n'hésitent pas à employer des enfants, une main-d'œuvre docile et bon marché, afin d'étendre la chasse à des territoires jusqu'alors trop coûteux à exploiter, explique l'article, citant un rapport du ministère américain du Travail.

Il faut s'attaquer aux causes sociales de ces exactions

Et il en va de même sur les mers et les océans. Car la surpêche pratiquée par les pays industrialisés a des impacts sur l'ensemble du globe. Lorsque le poisson se raréfie au point que les populations qui en dépendent ne parviennent plus à subvenir à leurs besoins, celles-ci se tournent vers d'autres moyens d'assurer leur subsistance. Outre l'insécurité qu'engendre le braconnage, celui-ci est également vecteur de pratiques relevant de l'esclavage. Pour étayer ses dires, l'article de *Science* se base, entre autres, sur un rapport des Nations unies traitant des crimes commis dans les pêcheries. On y apprend, par exemple, qu'en Thaïlande, en Birmanie ou au Cambodge, de jeunes hommes sont contraints à travailler de 18 à 20 h par jour sur des bateaux de pêche sans salaire durant plusieurs années. Que faire face à ce terrible constat ? Aborder cet iceberg de manière globale, ne pas seulement s'attaquer à sa partie émergée, recommandent les auteurs. « *Une solution durable ne peut être trouvée qu'en prenant en compte les causes qui conduisent à ce genre de pratiques. Parallèlement, les organisations gouvernementales travaillant à réduire les conflits entre populations doivent considérer le braconnage comme un moteur potentiel de ces conflits.* » Et l'article de citer quelques initiatives locales qui ont porté leurs fruits. Ainsi, en Namibie, l'association Nasco (Namibian Association of Community Based Natural Resource Management) a permis — avec l'aide de nombreuses universités, de centres de recherches, d'entreprises et du gouvernement — de former les populations à la gestion durable de ses ressources naturelles, et de lui donner les moyens de les exploiter plus efficacement. ■ **Erwan Lecomte**

---

ver », notait Jean-René Jourdain, radiobiologiste à la Direction de la protection de l'homme de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), interrogé en novembre 2012 alors que des examens similaires étaient réalisés sur la dépouille du dirigeant palestinien Yasser Arafat*.

Une idée tenace veut qu'au bout de dix périodes de 138,4 jours, la dose de radioactivité soit trop infime pour être mesurée. « *Cela dépend de la quantité administrée à l'origine* », tempère l'expert qui a calculé que la radioactivité serait de 1660 millions de becquerels pour une dose mortelle de dix microgrammes. Largement suffisant : la limite de détection est de 1 becquerel par kilogramme de corps sec, et de 10 millibecquerels dans les liquides. Mais les recherches prendront du temps. « *Il faut extraire un échantillon, le concentrer, ce qui demande plusieurs semaines*, poursuit Jean-René Jourdain. *Et comme le niveau de radioactivité sera faible, le mesurer prendra encore plusieurs semaines. Il restera à s'assurer que le polonium trouvé a bien été administré à dessein.* » L'enquête doit durer jusqu'à fin 2015. ■ **Arnaud Devillard**

* http://sciav.fr/1oGDLg6

LE MOT DU MOIS

Hachage

Exemple de hachage d'un texte au moyen des algorithmes MD5 et SHA-1.

Fin juillet, la police de Houston (Texas, États-Unis) arrêtait un homme de 41 ans pour l'envoi d'images pédopornographiques par son compte Gmail (service de messagerie de Google). C'est le National Center for Missing and Exploited Children (NCMEC), organisation américaine de lutte contre les violences faites aux enfants, qui a donné l'alerte, lui-même averti par… Google, qui avait repéré la photo. Même scénario, en 2013, avec un internaute surpris en train de charger 3000 photos litigieuses sur Picasa (service photo de Google). Google a en effet automatisé, depuis 2008, la traque de contenus pédopornographiques, non par reconnaissance d'images, mais par « hachage » de quantité d'images illégales circulant sur Internet et répertoriées par les autorités (le NCMEC affirme en recevoir de 10 000 à 15 000 par semaine). Le hachage (« hashing » en anglais) est une fonction mathématique qui transforme un fichier en un identifiant unique de 128 bits, qu'il s'agisse d'un film en HD de plusieurs Go, d'une image de 150 ko ou d'une adresse Internet. Une fois un fichier litigieux « haché », on peut à nouveau le repérer dès qu'il est mis en circulation en le confrontant à son identifiant, sans le confondre avec un autre et sans avoir à en examiner de nouveau le contenu. Google recourt à cette technique contre la pédopornographie, et uniquement dans ce cadre selon la société. Elle affirme éviter ainsi les problèmes de « faux positifs » posés par les logiciels de reconnaissance d'image qui ne savent pas distinguer une image douteuse d'une banale scène de plage ou de bain par exemple. Pour le grand public, plusieurs logiciels de hachage existent, mais tous ne sont pas fiables à 100 %. ■ A. D.

LES IMPRIMANTES PHOTO

Par Henri-Pierre Penel

Des souvenirs à portée de main

Pour nous permettre de réaliser des tirages photo à domicile, les fabricants rivalisent d'imagination, développant des technologies... pas toujours abouties. Alors, entre jet d'encre, sublimation ou Zink, que choisir ?

Pourquoi investir dans une imprimante ?

À l'heure du tout-numérique, le plaisir de feuilleter un album demeure supérieur à celui de faire défiler des images sur un écran. De nombreux commerces, en ligne ou en magasin, continuent donc de proposer l'impression de photos. Mais disposer d'une imprimante personnelle à domicile, pour un prix moyen de 200 €, permet de réaliser ses tirages à tout moment et au format de son choix, même jusqu'au A3, pour que les plus beaux clichés s'expriment pleinement.

Quelle technologie retenir en fonction de ses besoins ?

La sublimation thermique concerne les imprimantes exclusivement réservées à la photo et délivrant des tirages sur papier au format fixe de 10 x 15 cm. La technologie jet d'encre équipe les imprimantes dites multifonctions, c'est-à-dire adaptées au tirage photo comme à l'impression de documents. De plus, elles sont capables de gérer de multiples formats de papier, parfois jusqu'au A3. Inversement, la technologie Zink (Z pour *zero* et *ink* pour encre) ne gère que les plus petits formats, généralement 5 x 7 cm. Enfin, nous ne parlerons pas ici d'imprimantes laser car, si elles offrent un coût d'impression imbattable, elles ne sont pas bien adaptées aux tirages photo. Leur palette de couleurs est insuffisante pour offrir des teintes fidèles.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

Faut-il « craquer » pour une imprimante de poche ?

Guère plus grosses qu'un paquet de cigarettes, ces petites machines tiennent facilement dans une poche et se connectent en Bluetooth ou en Wi-Fi sur n'importe quel smartphone. Mais les tirages sont de petit format, guère plus de 5 x 7 cm, et leur qualité reste inférieure — notamment en ce qui concerne la restitution des couleurs — à celle de tirages réalisés par une imprimante traditionnelle.

Comment ça marche ?

Le plus souvent, il suffit d'insérer la carte mémoire de l'appareil photo dans le lecteur de l'imprimante pour obtenir un tirage direct des clichés. Cependant, utiliser un ordinateur offre davantage de possibilités : recadrage, habillage, correction de l'exposition ou des couleurs, choix du format de papier, etc.

La résolution est-elle un paramètre important ?

Sur une imprimante à sublimation, la résolution annoncée est le plus souvent de 300 DPI (12 pixels par millimètre), soit une qualité comparable à celle d'un tirage professionnel. En impression jet d'encre, les résolutions annoncées sont souvent supérieures à 5000 DPI. Cependant, il s'agit là de la plus petite gouttelette d'encre que peut déposer l'imprimante. Or, pour offrir des teintes intermédiaires, les gouttelettes doivent être entourées de blanc *(voir l'infographie)*. La résolution réelle de l'imprimante est donc bien inférieure au chiffre annoncé et, en général, la définition réelle d'une imprimante jet d'encre n'excède pas celle d'une imprimante à sublimation de 300 DPI.

Quel est le coût réel d'un tirage ?

En moyenne, les coûts de tirage sur une imprimante personnelle sont comparables à ceux que facturent les boutiques en ville ou en ligne. Les imprimantes à sublimation consommant leur rouleau

d'encre de manière identique quel que soit le type de photo, ce coût est d'une trentaine de centimes par tirage au format 10 x 15. Sur une imprimante jet d'encre, cette consommation varie considérablement en fonction de l'image à imprimer. Ainsi, les clichés de sports d'hiver, à dominante blanche, requièrent peu d'encre. À l'opposé, des photos prises en ambiance sombre seront de grosses consommatrices.

Pourquoi existe-t-il des imprimantes 4, 5 ou 6 encres ?

En théorie, quatre encres suffisent (magenta, cyan, jaune et noir). Cependant, pour obtenir une meilleure finesse dans les teintes intermédiaires (ciel, visage...), des encres aux teintes pastel sont ajoutées. De même un « noir photo », plus profond que le noir standard, est souvent présent.

Faut-il mettre l'imprimante en réseau ?

Connecter l'imprimante à tous les supports utilisés (ordinateur, tablette, smartphone...) permet de lancer l'impression des photos directement depuis l'appareil souhaité. Il est ainsi possible d'imprimer chez soi les clichés de son téléphone mobile, même si l'on se trouve à l'autre bout du monde. Certains modèles, notamment chez HP, sont même capables d'imprimer les photos mises en pièces jointes d'un courriel.

USB, Ethernet, Wi-Fi ou Wi-Fi direct, quelle différence ?

Le type de connexion détermine l'accessibilité au réseau. La liaison USB est parfaite si l'imprimante est assujettie à un ordinateur unique, mais ne permet pas la mise en réseau, contrairement à la liaison Ethernet et au Wi-Fi. Celle-ci permet en outre de se passer de câbles. Enfin, grâce au Wi-Fi direct, il est possible d'imprimer des clichés directement depuis une tablette ou un smartphone même en l'absence de « box ». L'imprimante crée une liaison Wi-Fi « point à point » temporaire avec le smartphone.

Banc d'essai pages suivantes ▶

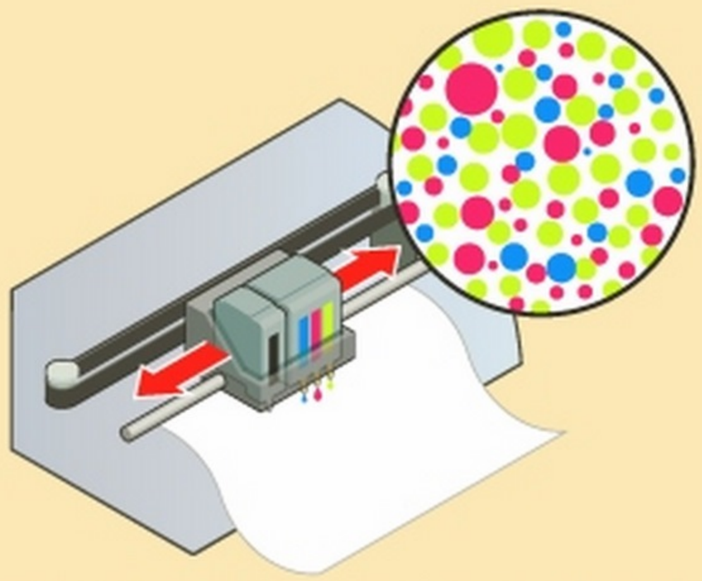
Le tirage papier est-il une garantie de durée ?

L'impression semble la seule solution pour que les clichés survivent à l'épreuve des ans.

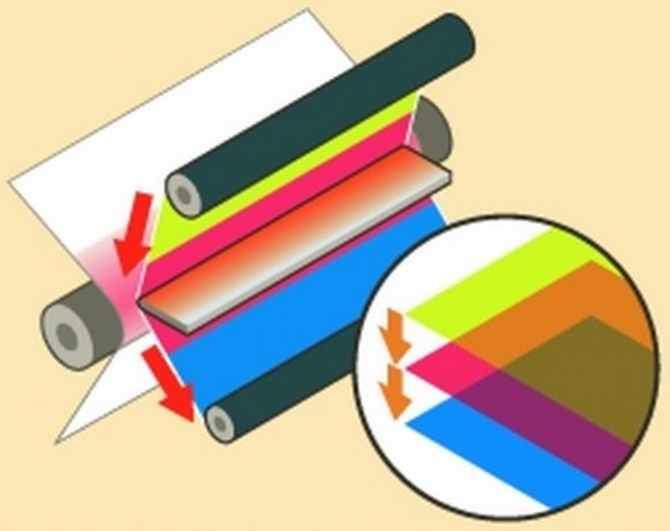
Les CD-Rom et les DVD vieillissent mal. Ils ont bien du mal à passer le cap des vingt ans. Les disques durs cassent, quand les fichiers qu'ils contiennent ne deviennent pas illisibles par obsolescence des formats utilisés à leur création. Le tirage papier des clichés est donc le meilleur moyen d'assurer la conservation des photos... à condition que les encres résistent au vieillissement. Pour ce faire, les colorants chimiques ont été remplacés par des pigments, moins sensibles aux ultraviolets notamment. La durée de vie annoncée des tirages est désormais supérieure à 200 ans s'ils sont conservés dans un album, et de plus de 100 ans sous verre. Certes, il ne s'agit que d'estimations obtenues par « vieillissement accéléré » (exposition aux ultraviolets, à la chaleur, au froid, à l'humidité, etc.), faute de recul suffisant pour des tests en durée réelle. Enfin, la qualité du papier a aussi un impact. Souvent, les fabricants vendent du papier photo sous leur marque, mais il existe d'excellents papiers non estampillés. Le principal point à vérifier concerne le grammage qui doit être compatible avec celui que peut traiter l'imprimante.

Trois procédés d'impression

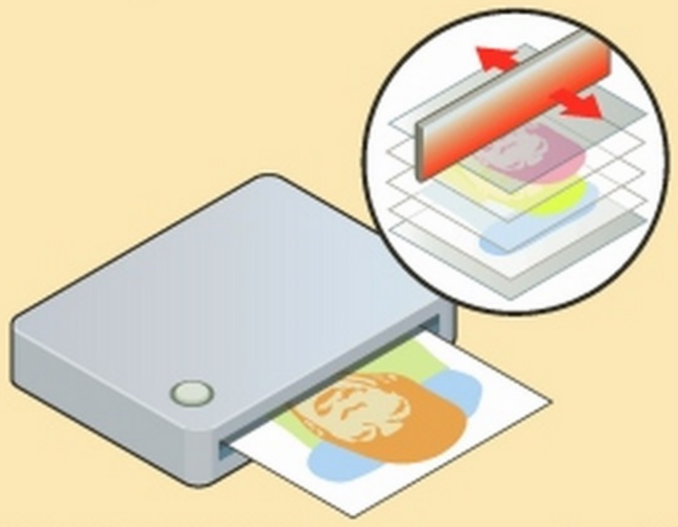
Différents systèmes coexistent. Nous nous intéresserons ici au jet d'encre, à la sublimation thermique et au Zink (Zero Ink) qu'exploitent les imprimantes photo.



UNE IMPRIMANTE JET D'ENCRE utilise un jeu de buses qui déposent des gouttelettes d'encre sur le papier. Les teintes intermédiaires sont obtenues en jouant sur la taille de chaque gouttelette. Pour un meilleur rendu des couleurs, des encres complémentaires en demi-teinte sont souvent ajoutées aux quatre couleurs de base.



SUR UNE IMPRIMANTE À SUBLIMATION THERMIQUE, l'impression se fait en trois passes successives. Les couleurs de base sont donc déposées les unes après les autres par chauffage d'un « ruban encreur » qui couvre la surface du cliché. Les variations de teintes s'obtiennent en modulant localement la température de la tête d'impression.



LA TECHNOLOGIE ZINK met en œuvre un papier spécifique qui contient déjà des encres sous forme de cristaux. Soumises à la chaleur, elles révèlent leur couleur. En fonction de la température de la tête d'impression, différentes teintes sont activées. À noter que la fidélité des couleurs qu'offre ce procédé reste inférieure à celle des systèmes précédents.

ILLUSTRATIONS BRUNO BOURGEOIS

LES IMPRIMANTES PHOTO

	Epson Expression Home XP-212	**HP** Photosmart 5525e All-in-One	**Canon** Selphy CP 910
Prix indicatif	59,99 €	99,90 €	99,99 €
Technologie	Jet d'encre 4 couleurs, 5760 x 1440 DPI	Jet d'encre 4 couleurs, 4800 x 1200 DPI	Sublimation thermique 3 couleurs, 300 x 300 DPI
Formats papier acceptés	Du 10 x 15 cm au A4, papier standard, papier photo, enveloppes. Bac 50 feuilles standard ou 10 feuilles photo.	Du 10 x 15 au A4, papier standard, papier photo, enveloppes. Bac 80 feuilles standard ou 15 feuilles photo.	10 x 15, 8,6 x 5,4 et stickers 5 x 5 ou 2,2 x 1,7. Pack 108 feuilles avec rouleau d'encre inclus.
Scanner	Oui, résolution 300 DPI, fonction copieur	Oui, résolution 1200 x 2400 DPI, fonction copieur	Non
Connexion	USB	USB	USB
Liaison sans fil	Wi-Fi, Wi-Fi direct	Wi-Fi, Wi-Fi direct	Wi-Fi, Wi-Fi direct
Lecteur de cartes	Non	Cartes SD/SDHC, Memory Stick Duo, MultimediaCard	Cartes SD/SDHC, lecture des clés USB
Dimensions/poids	390 x 300 x 145 mm / 3,9 kg	444 x 545 x 143 mm / 5,05 kg	178 x 127 x 60,5 mm / 810 g
Les plus	Wi-Fi, prix.	Écran tactile, impression recto verso automatique.	Possibilité d'alimentation par batterie, faible encombrement pour usage nomade.
L'avis de SCIENCES ET AVENIR	Une qualité d'impression très honorable pour un prix serré. Cette imprimante fait même office de copieur couleur.	Connectée au réseau domestique, elle peut envoyer directement une image vers une adresse e-mail pour imprimer des documents issus du Web.	Parfaite pour réaliser des tirages dans le « feu de l'action », elle peut même recevoir une batterie optionnelle pour être totalement autonome.

	Xsories PIXS Print	**Canon** Pixma MG 7150	**Epson** Expression Premium XP-710
Prix indicatif	149,99 €	179,99 €	179,99 €
Technologie	Sublimation thermique 3 couleurs, 290 DPI	Jet d'encre 6 couleurs, 9600 x 2400 DPI	Jet d'encre 5 couleurs, 5760 x 1400 DPI
Formats papier acceptés	54 x 86 mm. Pack recharge 10 tirages avec rouleau d'encre inclus.	Du 10 x 15 au A4, papier standard, papier photo, enveloppes. Bac 125 feuilles standard et 20 feuilles photo. Impression CD.	Du 10 x 15 au A4, papier standard, papier photo, enveloppes. Bac 100 feuilles standard et 20 feuilles photo.
Scanner	Non	Oui, résolution 2400 x 4800 DPI, fonction copieur	Oui, résolution 2400 x 4800 DPI, fonction copieur
Connexion	Chargeur	USB, Ethernet	USB
Liaison sans fil	Wi-Fi direct	Wi-Fi, Wi-Fi direct	Wi-Fi, Wi-Fi direct
Lecteur de cartes	Non	Cartes SD/SDHC, Microdrives, Memorystick, XD, CF	Cartes SD/SDHC, Memorystick, lecture des clés USB
Dimensions/poids	145 x 94 x 25 mm / 382 g	466 x 369 x 148 mm / 8,2 kg	390 x 341 x 141 mm / 6,9 kg
Les plus	Imprimante de poche autonome, technologie sublimation thermique.	Encres 6 couleurs. Accès direct à Picasa, bac spécifique pour impressions sur CD ou DVD.	Cartouche d'encre noir photo, impression sur CD ou DVD.
L'avis de SCIENCES ET AVENIR	Si la sublimation thermique offre un meilleur rendu des couleurs que le système Zink, cette imprimante reste, tout comme la LG, assez gadget.	Grâce à ses 6 encres et à sa résolution élevée, ce modèle délivre des tirages aux couleurs chatoyantes et dotées de teintes intermédiaires chaleureuses.	L'ajout de l'encre noir photo offre plus de profondeur aux teintes sombres. Par ailleurs, un connecteur spécifique permet d'imprimer directement les photos contenues dans une clé USB.

	LG Pocket Photo 2.0	**HP** Photosmart 6525 e All-in-One
	129 €	129,90 €
	Zink 3 couleurs, 313 DPI	Jet d'encre 4 couleurs, 4800 x 1200 DPI
	5,1 x 7,6 cm. Recharge 30 feuilles.	Du 10 x 15 au A4, papier standard, papier photo, enveloppes. Bac 80 feuilles standard ou 20 feuilles photo.
	Non	Oui, résolution 1200 x 2400 DPI, fonction copieur
	USB (pour la recharge de la batterie interne)	USB
	Bluetooth, jumelage assisté par NFC	Wi-Fi, Wi-Fi direct
	Non	Cartes SD/SDHC, Memory Stick Duo, MultimediaCard
	72 x 120 x 20 mm / 212 g	440 x 552 x 160 mm / 6,2 kg
	Imprimante de poche autonome aux belles finitions, utilisation simple, conviviale et assez spectaculaire.	Écran tactile, bonne ergonomie, services Internet associés.
	Le must de tout geek pour offrir ses « selfies ». Mais la qualité des couleurs qu'offre le Zink est inférieure à celle des autres procédés. Un produit assez gadget.	Elle dispose d'une adresse e-mail, ce qui permet de lui envoyer des photos en pièces jointes qu'elle imprime à réception du message.

	Canon Pixma iP8750	**Epson** Expression Photo XP-950
	299,99 €	349,99 €
	Jet d'encre 6 couleurs, 9600 x 2400 DPI	Jet d'encre 6 couleurs, 5760 x 1440 DPI
	Du 10 x 15 au A3+, papier standard, papier photo, enveloppes. Bac 150 feuilles standard et 20 feuilles photo.	Du 10 x 15 au A3, papier standard, papier photo, enveloppes. Bac 100 feuilles standard et 20 feuilles photo. Impression CD.
	Non	Oui (format A4), résolution 4800 x 4800 DPI, fonction copieur
	USB	USB, Ethernet
	Wi-Fi, Wi-Fi direct	Wi-Fi, Wi-Fi direct
	Non	Cartes SD/SDHC, Memorystick, CF
	590 x 331 x 159 mm / 8,5 kg	479 x 356 x 148 mm / 8,8 kg
	Impression au format A3+, encres 6 couleurs.	Impression au format A3, encres 6 couleurs.
	Une finesse d'image et une qualité de couleur identiques à celles de sa petite sœur MG 7150. Principale différence, ce modèle traite les feuilles de format A3 +.	Bien que de dimensions réduites, cette imprimante traite les feuilles A3. Aucun bac n'étant prévu pour leur accueil, elles devront être introduites manuellement une par une.

Astell & Kern AK1 00II

Le must du son pour baladeur

Astell & Kern, marque réputée pour son baladeur AK240, propose le AK100II. Réservé aux mélomanes, et d'un prix élevé, il est équipé d'un double convertisseur numérique/analogique Cirrus logic CS4398 capable d'offrir une restitution ultra-haute fidélité... à condition cependant de l'associer à un casque également de très haute qualité.

899 €

Panasonic FZ1 000

Un bridge qui tourne en 4K

Avec le FZ1000, Panasonic propose le premier appareil photo type « bridge », c'est-à-dire doté d'un objectif inamovible, capable de tourner des vidéos en ultra-HD 4K. Par ailleurs, son zoom 16 X, d'origine Leica, l'ouvre aux reportages en pleine nature, tant pour saisir de vastes panoramas que pour débusquer des animaux sauvages sans les effaroucher.

899 €

Quirky Porkfolio

Tirelire connectée

Porkfolio, de Quirky, est une tirelire... connectée qui vous aidera peut-être à économiser. Ce petit cochon rose propose de contrôler son contenu depuis un smartphone en affichant la somme cumulée à l'écran. Enfin, pour dissuader les chapardages, Porkfolio envoie une alerte sur le smartphone de son propriétaire dès qu'il est déplacé. Amusant.

89,90 €

LE CIEL DE SEPTEMBRE

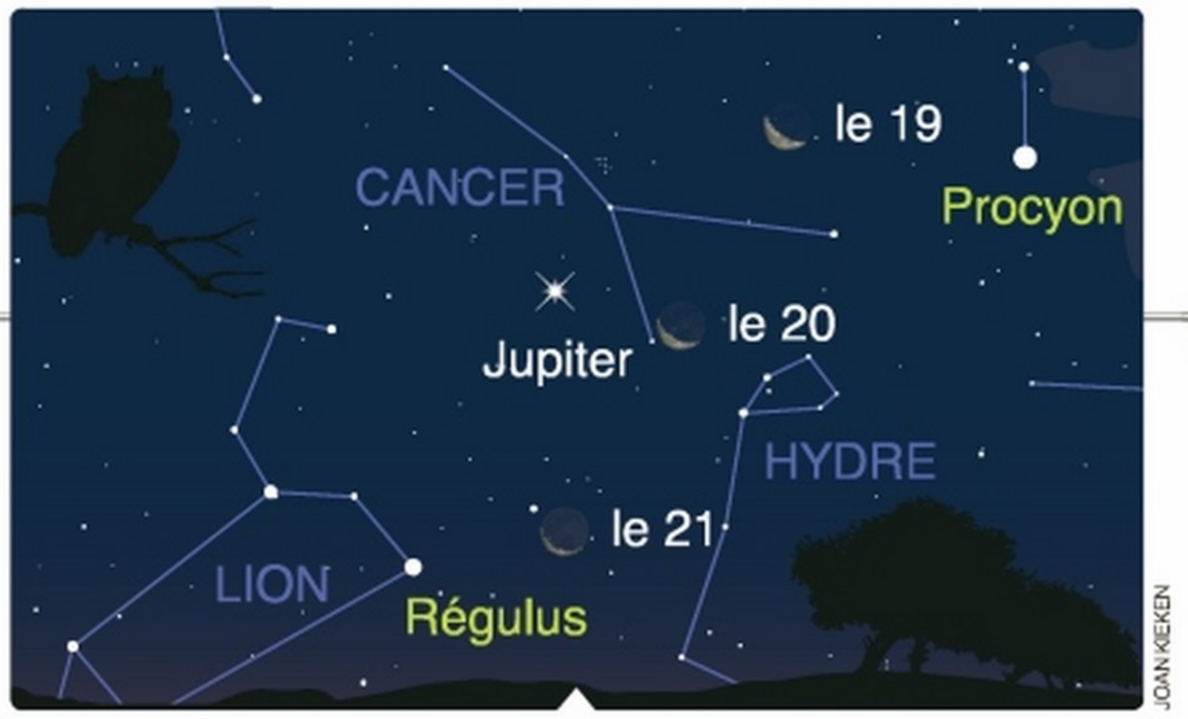
Par Johan Kieken

Où sont les planètes ?

MERCURE Bien qu'elle atteigne sa distance angulaire maximale au Soleil le 21, à 26° de lui, la petite planète est quasi indétectable sous nos latitudes, beaucoup trop basse dans les lueurs du couchant.

VÉNUS La très brillante étoile du Berger voit sa distance au Soleil passer de 14° à 6° au cours du mois. Elle profite toutefois d'un écliptique bien redressé et d'une latitude positive pour demeurer timidement observable au petit matin vers l'est.

MARS La planète Rouge est toujours visible en soirée, basse vers le sud-ouest. Elle poursuit son périple dans le ciel en laissant derrière elle Saturne et la Balance. Mars traverse le Scorpion en 12 jours seulement et, le 25, entre dans Ophiuchus, la 13e constellation du zodiaque.



Jupiter domine l'horizon est d'une vingtaine de degrés lorsque pointent les premières lueurs de l'aube.

Un croissant salue le retour de Jupiter

LA FIN DE L'ÉTÉ MARQUE LE RETOUR DE JUPITER DANS LE CIEL DE FIN DE NUIT. La planète géante se situe actuellement dans le Cancer, une constellation si terne qu'aucune de ses étoiles n'est visible au cœur des grandes villes. Le 20, Jupiter reçoit la visite de la Lune, à bonne distance toutefois, puisque les deux astres seront séparés de 5°.

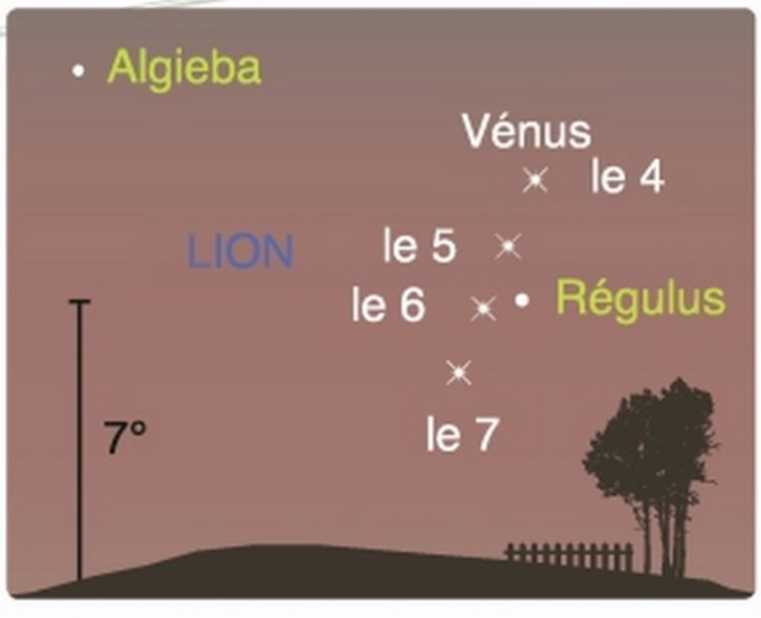
Notre conseil. L'observation ne présente aucune difficulté particulière, que ce soit à l'œil nu ou à l'aide de jumelles. L'illustration ci-dessus présente l'aspect du ciel visible plein est vers 6 h, entre le 19 et le 21, alors que l'obscurité est encore presque complète. Une jolie lumière cendrée accompagne notre satellite.

JUPITER La planète géante est observable en fin de nuit vers l'est, sous la forme d'un point très brillant qui se lève de plus en plus tôt. Ainsi, Jupiter franchit l'horizon 2 h 30 avant notre étoile en début de mois, mais 4 h 30 avant elle quatre semaines plus tard.

SATURNE La planète aux anneaux est encore visible en soirée, basse vers le sud-ouest. L'intervalle de temps séparant le coucher de Saturne de celui du Soleil décroît de 2 h 30 à 1 h 45 en septembre.

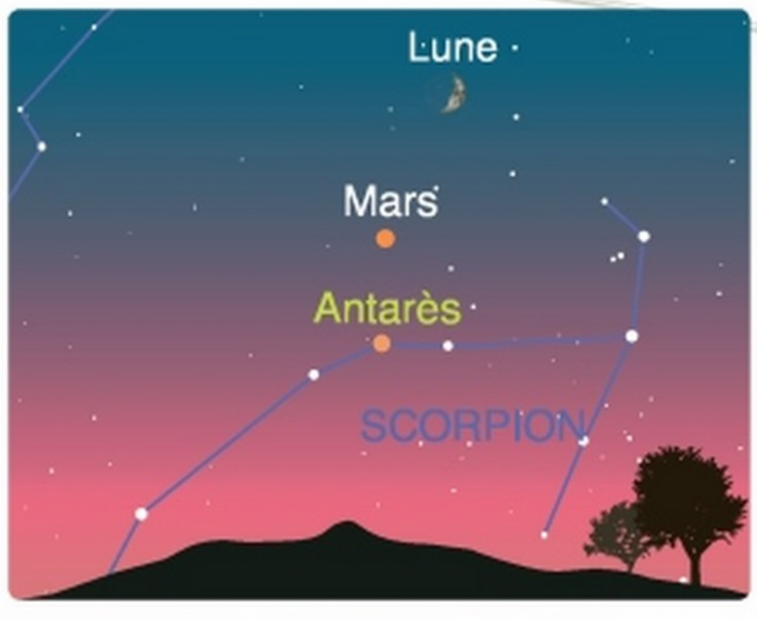
L'appli du mois

ECLIPSE CALCULATOR, une appli Android (grauite), en anglais, espagnol ou catalan, recense toutes les éclipses de Soleil, de Lune ainsi que les transits planétaires entre 1900 et 2100, calcule les événements observables en un lieu donné et simule graphiquement leur déroulement. Elle a été développée par Eduard Masana, astronome à l'université de Barcelone.

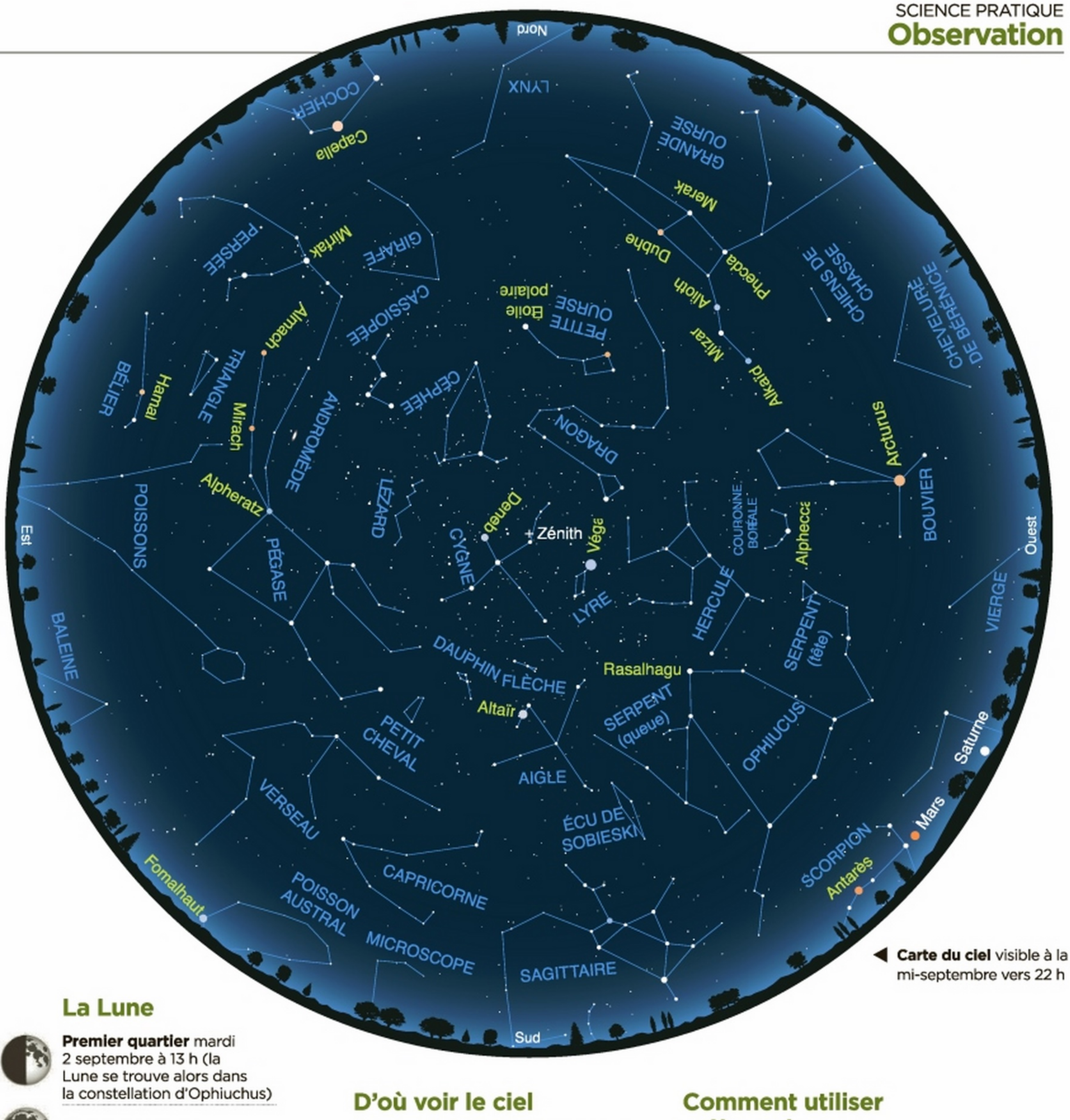


ENTRE LE 4 ET LE 7, UNE DEMI-HEURE AVANT LE LEVER DU SOLEIL, vers l'est, suivez le passage de la planète Vénus près de Régulus, l'étoile principale de la constellation du Lion.

LES SOIRS DU 27 ET DU 28, UN CROISSANT DE LUNE escorte la planète Saturne vers le couchant. La scène figurée se déroule vers 20 h 30 à une dizaine de degrés de hauteur.



LE 29, VERS LE SUD-OUEST ET À LA MÊME HEURE QUE LA VEILLE, la Lune se joint à la planète Mars et à sa rivale rougeoyante Antarès, étoile la plus lumineuse de la constellation du Scorpion.



◀ **Carte du ciel** visible à la mi-septembre vers 22 h

La Lune

Premier quartier mardi 2 septembre à 13 h (la Lune se trouve alors dans la constellation d'Ophiuchus)

Pleine Lune mardi 9 septembre à 4 h (Verseau)

Dernier quartier mardi 16 septembre à 4 h (Taureau)

Nouvelle Lune mercredi 24 septembre à 8 h (Vierge)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er septembre	7 h 7	20 h 33
30 septembre	7 h 48	19 h 32

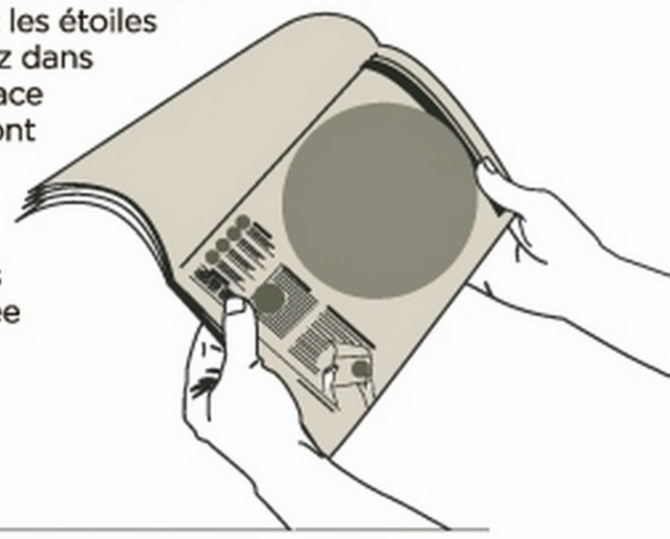
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.

Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



EXPOSITIONS

Bliesbruck (57)

C'était là, sous nos pieds
Six mille ans d'histoire du territoire à travers les résultats des recherches archéologiques menées sur les 4100 hectares du tracé de la ligne à grande vitesse est-européenne en Alsace et en Lorraine. Avec notamment la découverte de sites très anciens remontant jusqu'au néolithique (5400 ans avant notre ère).
Parc archéologique européen de Bliesbruck-Rheinheim, jusqu'au 30 septembre.
Rens. : 03.87.35.02.20

Blois (41)

Jardins de châteaux à la Renaissance
À partir de l'exemple des jardins de Blois, créés vers 1500 par Louis XII et Anne de Bretagne, cette exposition met en lumière le lien entre architecture et paysage, entre château et jardin à la Renaissance.
Château royal, jusqu'au 2 novembre.
Rens. : 02.54.90.33.33

Boulogne-sur-Mer (62)

Centre national de la mer
Un nouvel espace consacré à la recherche océanographique a ouvert en juin. le visiteur pourra vivre l'expérience d'une campagne océanographique à bord du navire de la *Thalassa*, depuis l'embarquement jusqu'à la cabine et du trait de chalut jusqu'à la salle de tri du poisson.
Nausicaà, boulevard Sainte-Beuve.
Rens. : 03.21.30.98.98

Bourges (18)

Les animaux et la Grande Guerre
Des extraits littéraires, photographies originales, supports audio, animaux naturalisés et documents historiques sont présentés pour appréhender l'impact de la Première Guerre mondiale sur les animaux et la nature.
Muséum d'histoire naturelle, allée René-Ménard, jusqu'au 28 septembre.
Rens. : 02.48.65.37.34

Saint-Riquier (80)/Exposition

L'Europe avant l'Europe **Les Carolingiens**

L'exposition qui se tient actuellement près d'Abbeville dans la Somme à l'occasion du mille deux centième anniversaire de la mort de Charlemagne révèle des pièces uniques de l'empire carolingien. L'abbaye de Saint-Riquier les accueille dans son cadre somptueux. Ce monastère était le siège d'échanges stratégiques de l'empire au VIII[e] siècle, car situé en son cœur.
« *C'était la Silicon Valley de l'époque*, explique Anne Potié, directrice du Centre culturel de l'abbaye. *On y a inventé l'écriture dite minuscule caroline qui a permis aux prêtres et aux liturgistes d'écrire lisiblement les textes latins, ainsi que le premier livret musical de l'histoire. Aujourd'hui, l'abbaye de Saint-Riquier devient l'abbaye des écritures à l'ère du numérique.* »
Soixante objets, originaux ou reproductions, sont présentés selon huit thématiques et huit salles en suivant une scénographie interactive multimédia et numérique. Parmi eux, le psautier de Corbie, la soierie dite aux Amazones, la fibule carrée dite de Chalandry.
Outre la vie quotidienne de l'époque, le visiteur découvre les gestes techniques qui rythmaient la journée d'un scriptorium au VIII[e] siècle. Et dans un « scriptorium numérique », plusieurs iPad donnent accès aux écrits du temps numérisés. ■ **Mathilde Brasilier**

BIBLIOTHEQUE MUNICIPALE DE CASTRES

Le couronnement de Charlemagne, enluminure du XIV[e] siècle.

Saint-Riquier, Abbaye royale, jusqu'au 29 septembre.
Rens. : 03.22.99.96.25

Les Eyzies-de-Tayac (24)

Grands sites d'art madgalénien
Il y a 150 ans, la découverte de cinq fragments d'ivoire gravé provenant de l'abri de la Madeleine à Tursac, en Dordogne, allait donner son nom à une culture qui s'était répandue sur tout le continent européen. Ce site ainsi que celui, voisin, de Laugerie-Basse constituent le cœur de cette exposition : leurs points communs et leurs dissemblances sont évoqués sur une période s'étendant d'il y a 15 000 à 12 000 ans.
Musée national de Préhistoire, 1, rue du Musée, jusqu'au 10 novembre.
Rens. : 05.53.06.45.45

Mulhouse (68)

Parc zoologique et botanique
Afin d'attirer l'attention sur les conséquences du réchauffement climatique global, le parc s'est doté d'un « espace Grand Nord » de 10 000 mètres carrés consacré à la faune arctique : ours polaires, bœufs musqués, chouettes lapones, renards polaires.
Parc zoologique et botanique, 111, avenue de la 1re-Division-Blindée.
Rens. : 03.69.77.65.65

Louvres (95)

Archéoville : Roissy, des Gaulois à de Gaulle
Un village pas comme les autres : Roissy-en-France, où le développement de l'aéroport a entraîné plus de 40 opérations archéologiques, qui, en moins de vingt ans, ont révélé deux mille ans d'histoire locale.
Musée Archéa, 56, rue de Paris, jusqu'au 21 septembre.
Rens. : 01.34.09.01.02

Hauterive (Suisse)

Aux origines des pharaons noirs
10 000 ans d'archéologie nubienne au fil des recherches conduites à Kerma (la capitale du royaume qui rivalisa un temps avec l'Empire égyptien) par la mission archéologique suisse.
À découvrir : offrandes funéraires, objets du quotidien, reconstitutions de tombes et d'habitats, maquettes, etc.
Laténium, parc et musée d'archéologie de Neuchâtel, espace Paul-Vouga, du 3 septembre au 17 mai 2015.
Rens. : +41.32.889.69.17

Paris (75)

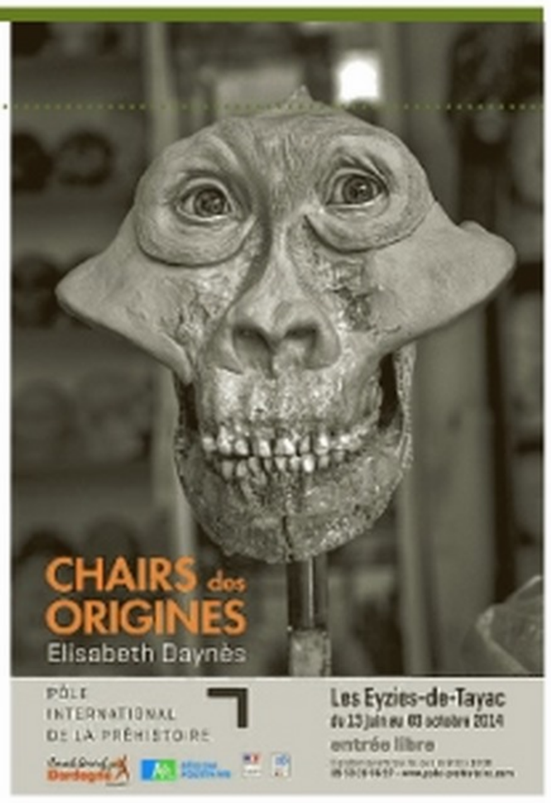
1100 kilomètres en Antarctique
Collaborateur de Sipa-Press, le photographe François Lepage a suivi le parcours effectué par un convoi de l'Institut polaire français Paul-Émile-Victor pour ravitailler la base de recherche franco-italienne Concordia au cœur du continent Antarctique.

Les Eyzies-de-Tayac (24)

Chairs des origines

Cela fait vingt-sept ans qu'Élisabeth Daynès redonne corps aux hommes et aux femmes de la préhistoire, à travers de spectaculaires reconstitutions. Les lecteurs de *Sciences et Avenir* ont d'ailleurs souvent pu admirer dans nos pages celles de l'australopithèque Lucy, de l'hominidé Toumaï, ou encore de néandertaliens et d'*Homo erectus*. Sollicitée par tous les grands musées du monde, la paléo-artiste française expose cet été plusieurs de ses étonnantes dermoplasties dans le très bel espace culturel du Pôle international de la préhistoire (PIP). **B.A.**

Pôle international de la préhistoire, 30, rue du Moulin, jusqu'au 3 octobre.
Rens. : 05.53.06.06.97



Palais de la Découverte, avenue Franklin-Roosevelt, jusqu'au 2 novembre. Rens. : 01.56.43.20.20

Les héritières de Marie Curie
Dans les jardins du musée qui honore la double prix Nobel, 33 photographies de femmes scientifiques ayant travaillé ou travaillant actuellement à l'Institut Curie.

Musée Curie, 11, rue Pierre-et-Marie-Curie, jusqu'au 31 octobre.
Rens. : 01.56.24.55.31

Saint-Antoine-l'Abbaye (38)

Gemmes, une brillante histoire
Un voyage au cœur de l'histoire des gemmes, du Moyen Âge au XIXe siècle, au fil d'une présentation de peintures, estampes, objets d'arts, manuscrits et cristaux.
Musée, le Noviciat, jusqu'au 5 octobre. Rens. : 04.76.36.40.68

Versailles (78)

Maquettes de la marine impériale
La collection des 17 maquettes de navires voulues par l'empereur Napoléon pour prouver l'excellence de la construction navale française a été rassemblée dans son intégralité dans le lieu pour lequel elle avait initialement été commandée : la galerie des Cotelle du Grand Trianon.
Château de Versailles, jusqu'au 19 octobre. Rens. : 01.30.83.75.80

Villers-sur-Mer (14)

Dinosaures de Normandie
Inédit en France, une salle consacrée aux dinosaures découverts en Normandie : le *Streptospondylus*, le *Lexovisaurus* d'Argences, le *Dubreuillosaurus* de Conteville...
Paléospace, avenue Jean-Moulin. Rens. : 02.31.81.77.60.

Paris (75)

Wave, quand l'ingéniosité collective change le monde

Le Pavillon éphémère de la fondation BNP Paribas expose au parc de la Villette vingt « petites » innovations qui changent la vie de beaucoup de gens. Les visiteurs y découvrent le concept de *jugaad*, mot hindi englobant toutes les inventions ingénieuses et peu onéreuses. Parmi elles, M-Kopa, au Kenya, est un kit de paiement par téléphone ultra-simple ; la laiterie du Berger, au Sénégal, valorise le lait des éleveurs peuls ; l'organisation indienne Narayana Hrudayalaya, abaisse le coût moyen d'une opération du cœur à 1400 € ; et le drone marin Protei nettoie les océans. Une salle accueillera ateliers, débats et séminaires tout au long du mois. **L. C.**

Parc de la Villette, 211, avenue Jean-Jaurès, du 10 septembre au 5 octobre. www.wave-innovation.com

JULIEN TAYLOR/FETART/BNP PARIBAS

Photo-collage expliquant le fonctionnement du drone marin Protei.

ET AUSSI

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Journées du patrimoine
Les journées du patrimoine ont pour thème cette année : « Patrimoine culturel, patrimoine naturel », s'ouvrant à la notion de site et de paysage. Ainsi, seront organisées des visites archéologiques ou consacrées à l'exploitation de ressources naturelles. À noter,

FLORENCE CARDENNES

L'ermitage de la Sainte-Baume, à Lirac, dans le Gard.

l'ouverture pour la première fois de la faculté de pharmacie de Tours et ses deux herbiers, ou celle, exceptionnelle, du chantier du musée de l'Homme.
Les 20 et 21 septembre.
Tout le programme sur www.journeesdupatrimoine.culture.fr

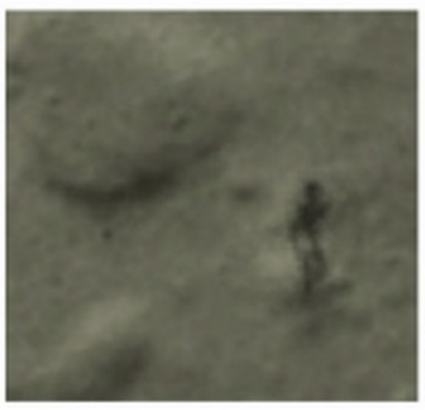
PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Journée mondiale Alzheimer
Toutes les associations départementales du réseau France Alzheimer et maladies apparentées seront sur le terrain pour sensibiliser et informer le grand public.autour de quêtes, marches, épreuves sportives, conférences, etc.
Le 21 septembre. Informations sur : journeemondiale.francealzheimer.org

L'INFO SCIENTIFIQUE EN CONTINU
sciencesetavenir.fr
DISPONIBLE SUR IPHONE/ IPAD, ANDROID ET TOUS LES SMARTPHONES

TENDANCE 2.0

Paréidolie. La Terre étant désormais trop petite pour le célèbre moteur de recherche, Google Earth permet d'explorer Mars et la Lune. Résultat, certains internautes font des découvertes. Ainsi, l'un d'eux a utilisé les images de Google « Moon » — des clichés de la Nasa et de l'Agence spatiale européenne — pour dénicher la silhouette... d'un habitant de la Lune *(photo)*. Hélas! le Sélénite



NASA/ASU

présumé est simplement une ombre sur un cratère. Encore une paréidolie, du nom de notre tendance naturelle à voir des visages ou des formes précises dans des nuages, des taches ou sur la surface d'astres. Souvenez-vous du désormais classique lézard de Mars, qui n'est pas la seule paréidolie de la planète rouge, loin s'en faut! **O. L.**

http://sciav.fr/811illusion

DAMIEN HIPPOLYTE

Rendez-vous réussi avec une comète

ASTRONAUTIQUE. La sonde européenne Rosetta a enfin rejoint la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko à 410 millions de kilomètres de la Terre. Soit environ mille fois la distance qui nous sépare de la Lune ! C'était le 6 août, une journée à revivre sur notre site : *Sciences et Avenir* était en direct à Darmstadt (Allemagne), au Centre européen des opérations spatiales. Mais l'aventure de Rosetta n'est pas terminée, puisque la sonde va bientôt larguer sur sa comète le petit atterrisseur qu'elle transporte, Philae. Une opération à haut risque, inédite à ce jour, prévue pour le 11 novembre : le jour de l'Armistice deviendrait, en cas de succès, doublement historique pour l'Europe !

http://sciav.fr/811rosetta

LES ARTICLES LES PLUS LUS

L'APPAREIL PHOTO LE PLUS RAPIDE AU MONDE

High-tech. Il capture des réactions chimiques en prenant 4 400 milliards d'images par seconde !

http://sciav.fr/811photo

LE MYTHE DES 10 %

Physiologie. L'humain n'utiliserait que 10 % de son cerveau : l'argument du film *Lucy* est une vieille théorie scientifique... 100 % fallacieuse.

http://sciav.fr/811lucy

GRAND BLANC CONTRE ROBOT

Nature. Une équipe d'océanographes a filmé l'attaque d'un requin sur son robot sous-marin avec une caméra embarquée. Brutal!

http://sciav.fr/811requin

RETROUVEZ-NOUS SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

MATHIEU NOWAK

VIDÉO. ADIEU MASQUE ET TUBA!

Le dispositif Easybreath va-t-il remplacer masque et tuba pour la « randonnée palmée » ? Le test de notre journaliste Mathieu Nowak http://sciav.fr/811test

O. LASCAR

BLOG DESSINS http://sciav.fr/olascar

ANDY WONG/AP/SIPA

IMAGE. LA PLEINE LUNE DE L'ANNÉE

La « super Lune » semblait être d'un diamètre supérieur à la normale, la nuit du 10 août. Photos et explication de cette illusion. http://sciav.fr/811lune

Une deuxième salle d'eau **où vous voulez !**

SANIBROYEUR® de SFA, et c'est facile !

Sanibroyeur® SFA permet d'installer des équipements sanitaires
(WC, douche, lavabo, bidet) où vous le souhaitez.
Une prise électrique, une alimentation en eau et une simple évacuation suffisent !

- Pas besoin de grosse canalisation d'évacuation
- Jusqu'à 5 m de hauteur de relevage
- Installation rapide, y compris en remplacement
- Gamme la plus silencieuse du marché

SFA

8, rue d'Aboukir - 75002 Paris
Tél. 01 44 82 39 10 - Fax 01 44 82 39 01
www.sfa.fr

volkswagen.fr

CONÇUE POUR VOS ENFANTS, DESSINÉE POUR VOUS.

Nouvelle Golf Sportsvan.

Parents, mais pas seulement.

Vous êtes des parents, oui, mais vous êtes aussi bien plus. Cédez au plaisir de conduire une voiture au design sportif, équipée des dernières technologies comme le détecteur de fatigue, le régulateur de vitesse adaptatif ACC(1) ou le détecteur d'angle mort Blind Spot Detection(1). La Nouvelle Golf Sportsvan réussit à allier des lignes fluides et dynamiques à une modularité et à un confort sans faille. Avec son coffre de 500 à 1 520 litres, sa banquette arrière coulissante et son grand toit ouvrant panoramique(1), la Nouvelle Golf Sportsvan n'a que des bons côtés pour les parents… mais pas seulement.

Nouvelle Golf Sportsvan. A partir de **17 190 €**(2)
SOUS CONDITION DE REPRISE

Das Auto.

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

Volkswagen Group France - s.a. - R.C.S. Soissons B 602 025 538

(1) En option selon modèle et finition. (2) Prix TTC conseillé au tarif du 24/04/2014 mis à jour au 02/06/2014 de la Nouvelle Golf Sportsvan Trendline TSI 85, remise exceptionnelle Volkswagen de 1300 € TTC et reprise Argus® + 2000 € TTC sur votre ancien véhicule déduites (cf. volkswagen.fr). Reprise de votre ancien véhicule aux conditions générales de l'Argus® (en fonction du cours de l'Argus® du jour de reprise, du kilométrage, des éventuels frais de remise en l'état standard et abattement de 15 % pour frais et charges professionnels déduit). Pour les véhicules hors cote Argus® reprise de 2000 € TTC. Offre réservée aux particuliers en France métropolitaine non cumulable avec toute autre offre en cours, valable pour toute commande entre le 01/08/2014 et le 30/09/2014 dans le réseau participant. **Modèle présenté :** Nouvelle Golf Sportsvan Carat 1.6 TDI 110 BVM5 avec options pack 'Drive Assist II' (650 € TTC), pack 'Techno' (1590 € TTC), jantes 18" 'Marseille' (950 € TTC) et peinture métallisée (620 € TTC) au prix TTC conseillé au tarif du 24/04/2014 mis à jour au 02/06/2014 de **30 830 €**, remise exceptionnelle et reprise Argus® déduites. **For safer cars : Pour des voitures plus sûres. Das Auto. : La Voiture.**

Cycle mixte (l/100 km) : 4,1. Rejets de CO_2 (g/km) : 106.

Professionnels, découvrez la version Business de ce véhicule sur volkswagen.fr/entreprises